EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

EL UNIVERSO
ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

Volumen

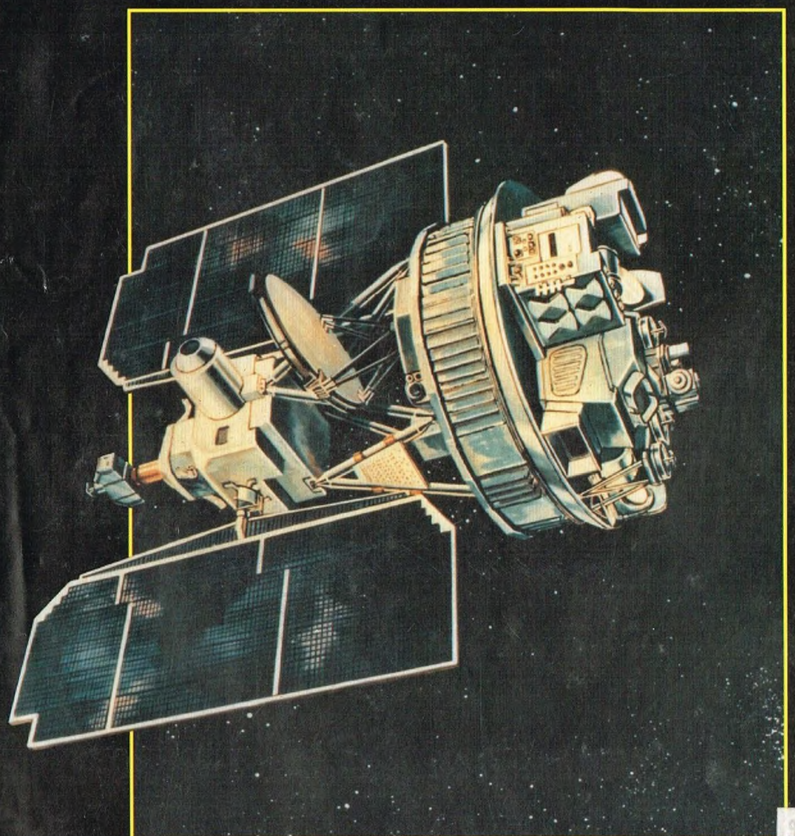


PLANETA DeAGOSTINI

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

33



9 788439 554219
20033

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

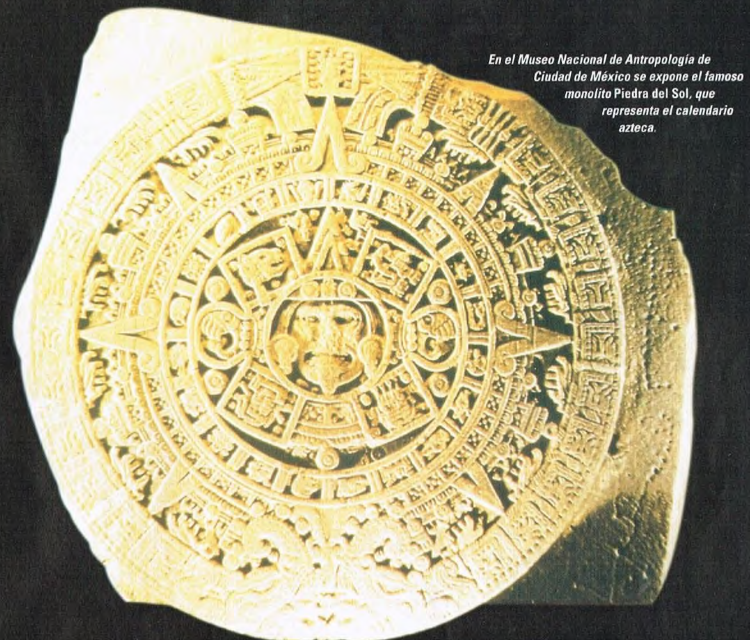
CALENDARIOS ANTIGUOS

Hoy en día, el calendario, en su forma material, se ha convertido en un objeto de regalo que comercios, restaurantes y bancos regalan a finales de año con fines publicitarios. Pero, ¿cuál es el origen del cálculo del tiempo? Y, sobre todo, el año, tal como lo medimos actualmente, ¿se ha concebido siempre de la misma manera o existen otras definiciones?

La necesidad de establecer la duración de las estaciones y, en particular, sus inicios tiene unos orígenes remotos. Seguramente tuvo una importancia fundamental desde que la humanidad se dedicó a las actividades agrícolas. Por ejemplo, era necesario poder prever cuándo llegaría la estación más apropiada para la labranza y la siembra, para sistematizar estas prácticas y tener un mayor margen de seguridad en la cosecha.

Por tanto, el calendario surgió de unas claras exigencias de tipo agrícola, antes que como simple curiosidad.

Existen pruebas de que la observación astronómica empezó al menos en el período neolítico. A esta época pertenecen los restos megalíticos de Stonehenge y muchos otros de características similares. Están constituidos por enormes bloques de piedra, o incluso por simples agujeros en el suelo en los que se colocaban estacas, cuya disposición se hizo de manera que señalasen en el horizonte el punto de salida o de la puesta del Sol y de la Luna en determinadas ocasiones. La posición de cada bloque de piedra o estaca de madera se encontraba alineando, desde un punto predefinido, estos puntos de referencia con el astro de interés situado en el horizonte. De esta manera se registraban los puntos en que salía y se ponía el Sol en los solsticios y equinoccios, así como los puntos más septentrional y meridional donde se veía surgir o esconderse la Luna. La disposición de elementos arquitectónicos según direcciones



En el Museo Nacional de Antropología de Ciudad de México se expone el famoso monolito Piedra del Sol, *que representa el calendario azteca.*



Los pueblos de América Central construyeron complejos monumentales, cuyos lados estaban dispuestos a lo largo de determinadas direcciones definidas por los astrónomos, para identificar los puntos de salida y de puesta del Sol en los días de equinoccio y solsticio.

astronómicamente relevantes no se limitó al período neolítico: hoy sabemos que muchos edificios de las civilizaciones americanas precolombinas se construían alineando los lados de las construcciones de manera que el Sol los iluminase de una forma particular en los equinoccios y en los solsticios. En otros casos, la disposición de grupos de edificios, en particular las pirámides de América Central, es la que servía para indicar los puntos de salida y puesta del Sol en días particulares del año.



Estas disposiciones tenían como principal finalidad poder identificar fácilmente las fechas más importantes del año, es decir, las de inicio de las estaciones; pero la elaboración de un calendario propiamente dicho, con unidades de tiempo inferiores al año y superiores al día, requería un paso posterior.

EL MOVIMIENTO LUNAR

Un importante paso adelante en el cálculo del tiempo se dio cuando se comprobó que algunos cuerpos celestes se mueven en el cielo respecto al fondo constituido por las llamadas estrellas fijas. Además, después de un análisis detallado de su movimiento, demostraron tener un comportamiento regular, aunque se caracterizaban por períodos diferentes.

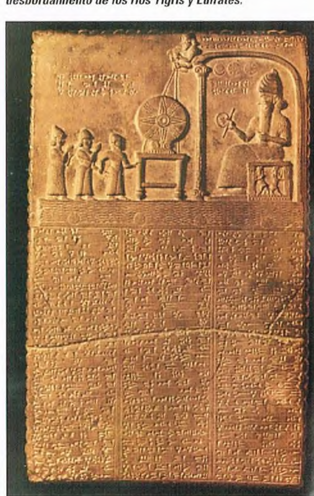
El primer objeto que mostró una buena regularidad en el transcurso del tiempo fue la Luna: aparece y desaparece con unas fases que cambian día tras día según un ciclo inmutable. En ciertos períodos la vemos en Occidente inmediatamente después de la puesta del Sol, baja en el horizonte, cerca del punto en que ha desaparecido el Sol, y en forma de una fina hoz. A medida que pasan los días, retrasa su salida aproximadamente una hora cada día y la fase se agranda, convirtiéndose en una hoz cada vez más ancha hasta el cuarto, después del cual, se muestra en forma cada vez más ancha hasta llegar a la luna llena. Pasado el plenilunio, el período de visibilidad pasa a la mañana y la porción visible va disminuyendo progresivamente. Para completar un ciclo entero de fases, la Luna emplea aproximadamente 29 días y medio, y éste fue uno de los primeros períodos fundamentales adoptado por muchos pueblos de la Antigüedad.

El comportamiento periódico y regular de los planetas se ha estudiado desde tiempos muy remotos: por ejemplo, se sabe que Venus había sido observado con mucha atención por los mayas, que lograron calcular su período sinódico, es decir, el que transcurre entre dos elongaciones máximas.

De esta manera nació el concepto de mes como el período que transcurre entre dos lunas nuevas sucesivas (antiguamente, el término «luna nueva» designaba la primera hoz fina que podía verse después de la desaparición de los resplandores solares).

Al mismo tiempo se identificaron otras periodicidades en el cielo observando la salida o la puesta helíaca de las constelaciones o de las estrellas más brillantes. Este fenómeno consiste en la presencia o la ausencia en el cielo de un astro según la posición del Sol. Sucedía que algunas estrellas, durante períodos más o menos largos, eran invisibles, en particular

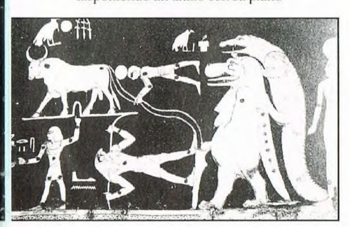
Los babilonios fueron un pueblo que desarrolló la astronomía de manera notable debido a que eran un pueblo agrícola. El conocimiento de los ciclos estacionales tenía una gran importancia para ellos, sobre todo para prever el desbordamiento de los ríos Tigris y Éufrates.





La Luna fue el primer objeto celeste estudiado porque mostraba un ciclo bastante regular, hasta el punto de que se tomó como base para el cálculo del tiempo. De esta manera nació el concepto de mes lunar que, con el paso de los siglos, se abandonó en favor del de año solar. Hoy, el mes tiene una duración algo superior a la de una lunación.

cuando su salida y su puesta coincidían con las del Sol. Más evidente todavía es el fenómeno de la variación de la duración de los días y de las noches en el transcurso de las estaciones y la variación de la altura del Sol sobre el horizonte. Es evidente que, durante el invierno, las noches son mucho más largas que los días, mientras que en verano sucede lo contrario. Además, coincidiendo con los días más largos, el Sol llega a la máxima altura sobre el horizonte, mientras que en los días más cortos, esta altura es mínima. La situación intermedia se produce en los días de los equinoccios, cuando el Sol está situado exactamente en el ecuador celeste. Esto permitió a Hiparco inventar un método sencillísimo para determinar la fecha de los equinoccios: disponiendo un anillo con su plano perpendicular al ecuador celeste, en el día del equinoccio, la sombra del anillo sobre una superficie horizontal era una línea. La periodicidad hallada para el comportamiento del Sol fue de 365 días, aproximadamente 12 veces la duración de un mes lunar.



CALENDARIOS LUNISOLARES

Esto representó un arma de doble filo para los astrónomos de la Antigüedad, porque la tentación de introducir la duración de 12 meses fue demasiado fuerte. Pero este procedimiento tenía sus desventajas, porque multiplicando la duración del mes lunar por 12 no se obtenían los 365 días del año solar. Las soluciones adoptadas fueron diferentes para los diversos pueblos. Por ejemplo, los babilonios introducían, cuando era oportuno, un decimotercer mes para reajustar las cuentas, distribuyendo estas adiciones de acuerdo con un ciclo de 19 años. El 13° mes se introducía en los años 2°, 5°, 7°, 10°, 13°, 16° y 18° del ciclo.

En cambio, el problema fue ignorado por los egipcios. Inicialmente, este pueblo también adoptó un calendario basado en el movimiento de la Luna y sus fases, previendo 12 meses lunares, eventualmente con la ayuda de un 13° mes para reajustar el año a la sucesión de las estaciones. Sin embargo, más tarde, desvincularon el año de los meses lunares efectuando una simple cuenta de los días y adoptando un año compuesto de 12 meses iguales de 30 días de duración, al que le añadían cinco días para completar la duración del año. Este calendario estaba desvinculado del movimiento lunar, mientras que antes, el principio de cada mes venía dado por la última fase lunar visible antes de la luna nueva. En el año maya, la civilización homónima de América Central, también se añadían, por pura coincidencia, cinco días. Éste era uno de los dos sistemas de datación utilizados por aquella civilización que, a pesar de estar compuesto por 365 días al igual que muchos otros calendarios, preveía 18 meses de 20 días de duración.

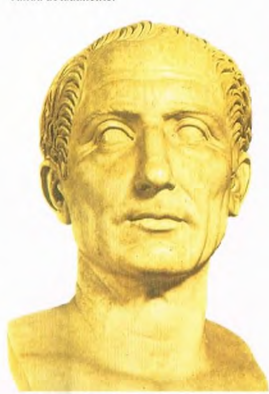
A la izquierda, los antiguos egipcios abandonaron pronto el calendario lunisolar para sustituirlo por uno de 365 días.

En China también fue introducido un calendario lunisolar. En él, los meses eran rigurosamente lunares y el año tenía una duración igual a una de estas unidades, salvo en el caso en que era necesaria la introducción de un 13° mes para reajustar la duración del año solar, lo mismo que hacían los antiguos babilonios.

LARGOS PERÍODOS

Ya se ha descrito el período de 19 años que los astrónomos babilonios inventaron para ajustar la duración media del año al período empleado por el Sol para completar una vuelta completa alrededor de la eclíptica. Este sistema hacía el año igual a 365,26 días, contra una duración efectiva de 365,24 días, y también fue adoptado por los antiguos griegos con el nombre de ciclo metónico, del nombre de uno de sus más importantes astrónomos, Metón.

Julio César decretó una reforma del calendario. Esta reforma estableció las reglas fundamentales que sufrieron pocas variaciones con la reforma gregoriana de 1582, todavía válida actualmente.





Existen restos evidentes de estudios astronómicos en periodos prehistóricos, por ejemplo, las construcciones megalíticas, cuya disposición estaba estudiada en base a alineamientos astronómicos.

También existen otros casos en que el año se completaba, por así decirlo, con ciclos mucho más largos: los aztecas consideraban un período de 52 años de duración, resultante de la combinación del año maya y del año de otro calendario de uso religioso.

LA HISTORIA DEL CALENDARIO ROMANO

El calendario romano, a diferencia del de los otros pueblos contemporáneos, era inicialmente muy irregular. Es curioso que de la racionalización de aquel calendario se derivó, en última instancia, el que se utiliza actualmente. A esto contribuyó indudablemente la extensión del Imperio romano, que permitió uniformizar las modalidades de cálculo del tiempo en una gran parte del Antiguo Continente.

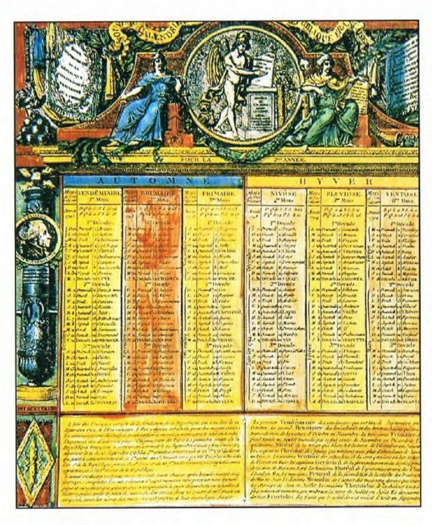
En un primer tiempo, que precedió a la subida al trono de Roma del rey Numa Pompilio, los pueblos latinos adoptaban un año de sólo 304 días, resultante de la combinación de 10 meses de duración variable entre 30 y 31 días.

Fue sólo con Numa Pompilio cuando las cosas se ordenaron por primera vez, asociando el año a la Luna y al Sol. De esta manera, el año quedó formado por 12 meses, seis de los cuales eran de 29 días y los otros seis de 30 días. Por tanto, la duración del año pasó a ser de 354 días, con la introducción periódica de un mes, análogamente a lo que hacían otros pueblos, para adaptar la duración del año lunar a la del año solar. Esta preocupación, tan difundida en la Antigüedad, nacía del hecho de que el año que más interesaba estaba ligado a la duración y a la repetición de las estaciones. También hoy, nuestro año coincide con el año trópico, que es el intervalo de tiempo que transcurre, por ejemplo, entre dos equinoccios de primavera. Esto se debe a que el movimiento de precesión del eje de rotación terrestre tiene una duración ligeramente diferente a la del año sidéreo que, en cambio, es igual al tiempo necesario para que la Tierra recorra una órbita completa alrededor del Sol.

Volviendo al calendario de Numa Pompilio, el mes que se intercalaba se insertaba cada dos años y tenía una duración alternativa de 22 y 23 días. Con este procedimiento, el calendario se ponía de acuerdo con los fenómenos celestes. Sin embargo, con el paso del tiempo, este acuerdo se perdió, tanto que en la época de Julio César había caído en un régimen caótico, porque, con los años, los encargados de mantener el orden en el calendario, es decir, los pontífices, se habían desviado de las reglas establecidas por el autor de la reforma.

En consecuencia, era necesaria una nueva revisión y, para implantarla, Julio César, que fue su promotor y la hizo operativa en el año 46 a.C., la encargó al astrónomo griego Sosígenes de Alejandría. Las indicaciones dadas por Sosígenes hicieron el calendario romano, llamado juliano, muy similar al actual: el año quedaba fijado en 365 días y estaba dividido en 12 meses de 30 y 31 días, menos febrero, que era de 29 días. Esta diferencia respecto al que utilizamos actualmente se debía a que, según la reforma, los meses de 30 días eran abril, junio, agosto, octubre y diciembre, alternados con los otros, más largos. Sólo posteriormente se alargó agosto y se modificaron los meses siguientes para mantener la alternancia entre los meses de 30 y 31 días. Como la duración real del año trópico es aproximadamente de 365 días y un cuarto, cada cuatro años

Según el calendario juliano, la duración del año era bastante precisa. Sin embargo, con el transcurso de los siglos, fueron acumulándose pequeñas diferencias con el año real, hasta llegar a un adelanto de 10 días sobre la fecha del equinoccio de primavera.



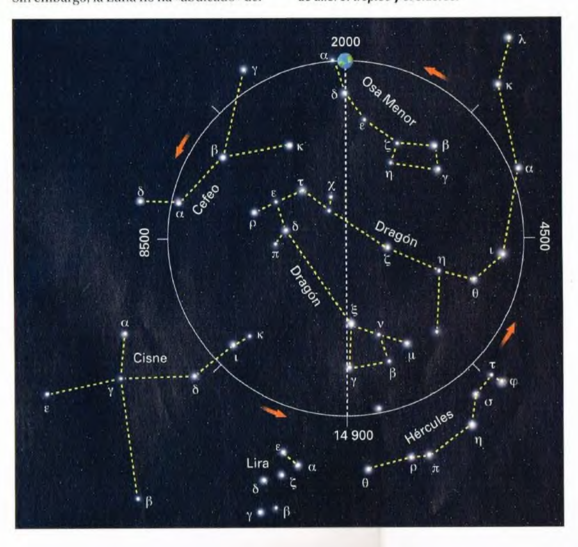
La Revolución Francesa intentó en vano introducir su calendario para eliminar las antiguas tradiciones. Sin embargo, los intervalos temporales utilizados hasta entonces estaban tan enraizados que la empresa no tuvo éxito.

se añadía un día, tal como se hace ahora, creando así el año bisiesto.

Sin embargo, el calendario juliano también estaba lejos de ser perfecto: a lo largo de los años, se acumuló un desfase de 10 días entre el año real y el año del calendario. Fue gracias al papa Gregorio XIII que se efectuó una última reforma, todavía en vigor, que hacía más preciso el cálculo del año retocando periódicamente la regla de inserción de los años bisiestos. La reforma condujo también a la supresión de los 10 días sobrantes que se habían acumulado desde los tiempos de Julio César. Por decreto papal de 1582, el día que siguió al 5 de octubre fue el 15 y no el 6, restituyendo el equinoccio de primavera al 21 de marzo, como en los tiempos de la reforma juliana. Es interesante observar que en la tradición popular se ha mantenido la idea de que la noche de Santa Lucía, el 13 de diciembre, es la más larga del año, 10 días antes del verdadero solsticio de invierno, es decir, del día cuya noche tiene su máxima duración.

Por tanto, los calendarios nacieron siguiendo de manera más o menos fiel los ciclos del Sol y de la Luna, al principio tratando de vincular las periodicidades ligadas a estos dos objetos celestes. Sin embargo, la imposibilidad de lograr un sistema de cálculo armónico que tuviese en cuenta las fases lunares y el ciclo anual del Sol, y la gran importancia de disponer de las fechas lo más fijas posible para los equinoccios y los solsticios hicieron que los primeros calendarios lunisolares fuesen abandonados en favor de los calendarios solares. Por tanto, el año trópico pudo decretar su victoria como intervalo fundamental para las actividades humanas, suplantando de esta manera las lunaciones, es decir, el tiempo que transcurre entre dos lunas nuevas sucesivas. Sin embargo, la Luna no ha «abdicado» del todo y aún conserva su antigua función de indicadora del tiempo: de su pasada importancia aún queda la duración de los meses, aproximadamente iguales a una lunación, y de la semana, que es el lapso de tiempo que transcurre, como media, entre una fase lunar y la siguiente. Por tanto, a nivel de tradición, utilizamos todavía algunas antiguas usanzas nacidas antes de realizar una elección entre todas la modalidades de contar el tiempo. Para darnos cuenta hasta qué punto están enraizados estos intervalos de tiempo, basta pensar en el fracaso del calendario introducido después de la Revolución francesa: además de cambiar los nombres de los meses, se intentaba abolir la semana pasando a la década, pero el intento no tuvo ningún éxito. La función que todavía tienen las semanas y los meses es proporcionar una especie de submúltiplos de una magnitud, el año, cuya dimensión es demasiado grande para poder ser útil a la colectividad.

El desplazamiento del polo celeste, representado en este gráfico, está ligado al fenómeno de la precesión de los equinoccios descubierto por Hiparco. Este fenómeno hace que el tiempo transcurrido entre dos equinoccios de primavera sea ligeramente diferente del empleado por la Tierra en efectuar una revolución completa alrededor del Sol, dando así origen a dos tipos de año: el trópico y el sidéreo.



¿POR QUÉ DE NOCHE EL CIELO ES MÁS OSCURO?

La oscuridad de la noche se debe simplemente a que el Sol se ha puesto. Este suceso cotidiano es una consecuencia directa del hecho de que el universo es joven o que hubo un tiempo en que ninguna estrella emitía luz.



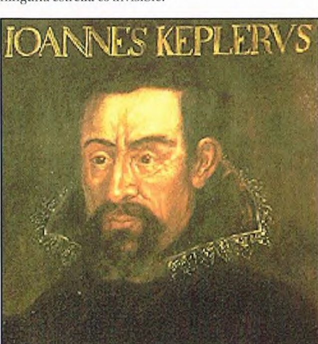
La primera persona que se dio cuenta de la incompatibilidad entre un hipotético universo infinito y lleno de estrellas luminosas y la oscuridad del cielo nocturno fue Johannes Kepler (1571-1630), matemático y astrónomo que, en su libro *Conversaciones con el mensajero de las estrellas*, escrito en respuesta a los descubrimientos anunciados por Galileo, refutaba la posibilidad de que el universo fuese infinito, porque, de otra manera, nuestra vista encontraría una estrella cualquiera que fuese la dirección de observación y el cielo nocturno sería tan luminoso como el Sol.

Utilizando el parangón del astrónomo contemporáneo Harrison, que ha escrito mucho sobre este tema, ocurriría lo mismo que le sucede a un observador situado en el interior de un bosque, que ve árboles en todas las direcciones sin poder ver el exterior del bosque.

DE NEWTON A HALLEY

Después de Kepler, Newton y Halley se enfrentaron con la misma paradoja. Por su parte, Newton reflexionó sobre el problema desde un punto de vista físico, calculando la fuerza de la gravedad, obviamente infinita, que un universo ilimitadamente extenso podía ejercer sobre la Tierra y cada cuerpo celeste. Resolvió el problema indicando que la fuerza total de atracción debía ser nula, puesto que por cada par de direcciones opuestas en el cielo, debían actuar fuerzas iguales pero de sentido contrario. Por el contrario, el astrónomo Halley, que se interesaba por la luz de las estrellas, probó a sumar las contribuciones de luminosidad procedentes de direcciones opuestas, llegando a la conclusión de que a la Tierra debería llegar una cantidad infinita de luz. La solución de Halley a esta incongruencia fue que las estrellas más lejanas eran tan débiles que ningún telescopio podía observarlas y, por tanto, en el cielo nocturno sólo podía verse un número finito de estrellas. Pero la argumentación era evidentemente errónea, porque ninguna estrella es invisible.

El cielo estrellado oscurece las noches de la Tierra. Pero el hecho de que sea tan oscuro en conjunto es mucho menos evidente de lo que podría parecer.



A la izquierda, retrato de Johannes Kepler. El gran científico alemán, que vivió a caballo de los siglos XVI y XVII, tiene muchos méritos en el campo astronómico, entre otros, el de plantear por primera vez el problema de la oscuridad del cielo nocturno.

OLBERS, CHESEAUX Y HERSCHEL

Por tanto, el problema era bien conocido, aunque sin solución, cuando Heinrich Olbers, el descubridor del asteroide Palas (el segundo después de Ceres, descubierto por el italiano Piazzi), se replanteó la cuestión en 1823 y propuso que la luz, durante su viaje por el espacio lejano, era absorbida progresivamente y no llegaba al observador. En 1744, Cheseaux había formulado una hipótesis análoga. Pero en 1848, Herschel los refutó a los dos, demostrando que toda la energía absorbida por un eventual material presente en el universo sería remitida, aunque en diversas direcciones. De esta manera, la cantidad de luz que llegaría a un observador sería la misma que en ausencia de cualquier absorción. A partir de aquel momento, la cuestión de la oscuridad del cielo se recuerda como la paradoja de Olbers.

LA PARADOJA DE OLBERS

Esta paradoja puede enfocarse a diferentes niveles. Por ejemplo, como primera posibilidad pensemos en un universo newtoniano, infinito (en el sentido de no considerar ni la expansión del universo ni la teoría de la relatividad) y uniformemente poblado de estrellas. Fijemos nuestra atención en una envoltura de grosor Δ, centrada sobre la Tierra, y de radio *r*. La luz



Arriba, retrato de Isaac Newton. El gran físico británico afrontó la paradoja de Olbers de manera marginal. Sólo se preocupó de demostrar que, si las estrellas estuviesen distribuidas de manera uniforme en un universo infinito, su atracción gravitatoria sobre la Tierra sería nula.

Capas de igual espesor

Estrellas

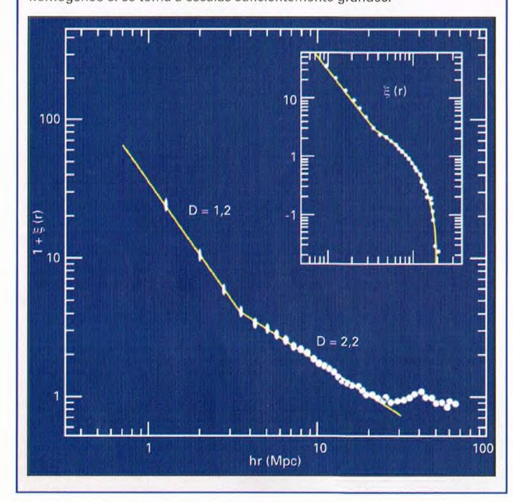
Observador

d

Las estrellas que pueblan de manera uniforme el universo llenan capas esféricas de un espesor proporcional al cuadrado de su distancia r a nosotros. Pero la luz de cada estrella es atenuada de manera proporcional a $1/r^2$. En consecuencia, la cantidad total de luz procedente de cada capa es siempre la misma, porque el producto $r^2 \times 1/r^2$ es constante.

LA DIMENSIÓN FRACTAL DEL UNIVERSO

La dimensión del espacio tal como se conoce habitualmente vale 3, lo cual simplemente puede verse por el hecho de que el contenido en volumen de una esfera aumenta con el cubo del radio, es decir, $V \propto r^3$.
El contenido puede ser diferente del simple volumen y, en nuestro caso, puede definirse como el número *N* de estrellas o galaxias, da lo mismo, que se encuentran dentro de un radio *r* desde el observador. Si el universo está homogéneamente lleno de galaxias, también tendremos que $V \propto r^3$. En general, se define como dimensión fractal el exponente al que se debe elevar *r* para obtener el número *N* observado. Para medir la dimensión del universo es necesario efectuar el recuento de las galaxias cada vez más lejanas. Una vez hallada una *D* tal que $N \propto r^D$, habremos definido esta dimensión. En 1991, Guzzo y sus colaboradores efectuaron esta medición con una muestra de 1.092 galaxias de distancia conocida. Sus resultados indican que la dimensión *D* varía según *r*: con pequeños radios de algunos Mpc, *D* vale aproximadamente 1,2, luego pasa a ser 2,2 con volúmenes de radios de 10 a 20 Mpc y, finalmente, la dimensión del universo vale 3. En consecuencia, estamos en presencia de un universo homogéneo si se toma a escalas suficientemente grandes.



de una estrella situada dentro de esta envoltura llegará a la Tierra con una luminosidad aparente inversamente proporcional al cuadrado de su distancia. Por otra parte, el número de estrellas que habrá dentro de la envoltura será proporcional a su volumen, que es $4\pi r^2\Delta$ y, en total, la cantidad de luz que llegará a la Tierra desde esta envoltura esférica debería ser proporcional al producto de la luminosidad aparente de una estrella por el número de estrellas. En los cálculos, la distancia *r* se elimina, porque se hace la división $4\pi r^2\Delta/r^2 = 4\pi\Delta$, con lo que se comprueba que la luz total no depende de la distancia *r*. En otras palabras, de toda envoltura esférica de espesor Δ llega una cantidad de luz fija. Si el universo fuese infinito, las envolturas alrededor de la Tierra también serían infinitas y, por tanto, la luz que llegaría a un observador del cielo nocturno sería inevitablemente infinita. La Tierra, así como cualquier otro punto del universo, sería el centro de un enorme horno calentado por una enorme cantidad de energía. Evidentemente, la conclusión a la que conduce un escenario de este tipo es absurda, desde el momento en que existimos y estamos vivos.

La solución a esta paradoja es casi inmediata. Las estrellas tienen un diámetro finito, distinto de cero. Cuando un rayo de visión que parte del observador encuentra una estrella, no prosigue y pierde todas las estrellas que hay detrás de ella (infinitas). Como esto es válido para cualquier dirección del cielo, es evidente que la cantidad de luz que llega a la Tierra no puede ser infinita y nuestra visión queda limitada a un horizonte visible. Sin embargo, se mantiene el hecho de que el cielo, en cada dirección, debería ser tan brillante como la superficie de una estrella, por ejemplo, la del Sol. El calor sería insoportable y, después de pocos instantes, toda el agua de la Tierra se habría evaporado, seguida del resto del planeta. Este argumento también resulta paradójico.

DE NEWTON A SHAPLEY

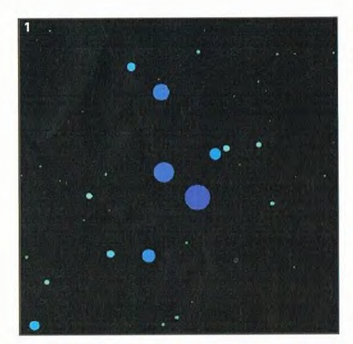
Una solución sencilla al problema vuelve a las antiguas ideas de un universo finito, con un límite preciso. Kepler suponía un verdadero muro físico en los confines del mundo observable. Con Newton, este muro perdió su consistencia, sustituyéndolo por posibles limitaciones de la extensión del espacio ocupado por estrellas y, todavía en los años 1920, Shapley consideraba nuestra Vía Láctea como la única Galaxia del universo. En todas estas hipótesis, el límite físico del universo estrellado sería tan pequeño como el horizonte visible, llevando la luminosidad del cielo nocturno a los ínfimos niveles que conocemos.

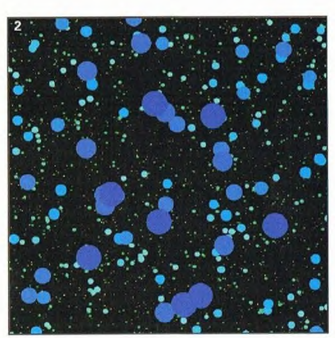
¿UNA SOLUCIÓN?

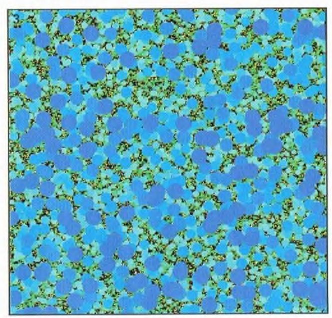
La curvatura del espacio-tiempo, en la base de la teoría de la relatividad, proporciona la posibilidad



A la derecha, retrato de Edmond Halley. Sumando todas las contribuciones de luz que llegan a la Tierra, llegó a la conclusión de que el cielo nocturno debería ser luminoso. Su solución a esta paradoja fue que, en realidad, a partir de una cierta distancia, las estrellas son demasiado débiles para ser observadas.







Una dimensión fractal diferente de 3 implica un universo muy vacío. En las tres figuras se muestra cómo el cielo nocturno se va llenando de astros manteniendo fija la densidad de estrellas en nuestras proximidades, pero variando la dimensión fractal de D = 1 a D = 2 y a D = 3. Las distancias se han codificado con diferentes colores, más azul para las estrellas próximas y más rojo para las apenas visibles.

de pensar en un universo ilimitado, pero finito. Un espacio con curvatura esférica puede ser comparado a la superficie de una esfera, de área limitada, pero que puede recorrerse ilimitadamente avanzando en línea recta (que en la superficie de una esfera es una curva: piénsese en una navegación recta por un planeta que sólo tenga agua).

Muchas veces se ha planteado la hipótesis de este tipo de universo como solución a la paradoja de Olbers. Parecería sensato que un número finito de estrellas proporcionase una luz muy limitada en el cielo nocturno. Pero no funciona. En efecto, un rayo de luz que parta de una estrella sin encontrar al observador de la Tierra dispone todavía de muchas vueltas dentro del universo para volver a recorrer sus partes y, al final, llegar al observador. La paradoja permanece en las mismas condiciones que las de un universo infinito.

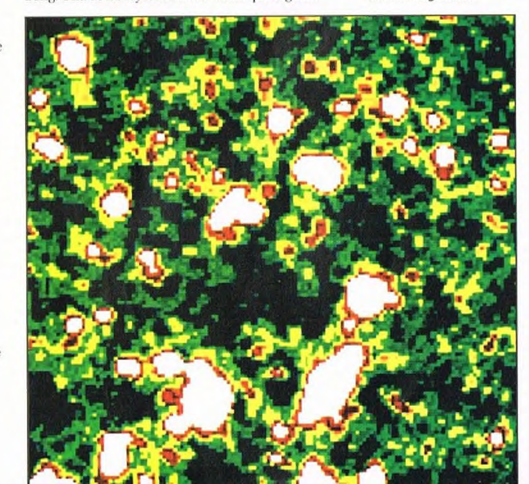
SEGÚN KANT

La idea kantiana de un universo jerárquico también se ha estudiado como solución. Un universo jerárquico está organizado en estructuras agregadas, como los cúmulos estelares o galácticos, en una jerarquía infinita. Así, las estrellas están agrupadas en galaxias, las galaxias en grupos, los grupos en cúmulos galácticos, lo cúmulos en supercúmulos, y así sucesivamente, hasta el infinito. De esta manera, la densidad de los objetos de jerarquía superior es cada vez más baja y, si se define la escala jerárquica de manera adecuada, se puede hacer decrecer la densidad de manera suficientemente rápida con el aumento de la distancia para mantener oscuro el cielo nocturno. En tiempos más recientes, esta manera de pensar se ha definido como fractal, pero la heterogeneidad del universo que implica este modelo no se ha observado nunca, y la explicación nunca ha tenido una base suficiente para ser aceptada.

LA SOLUCIÓN

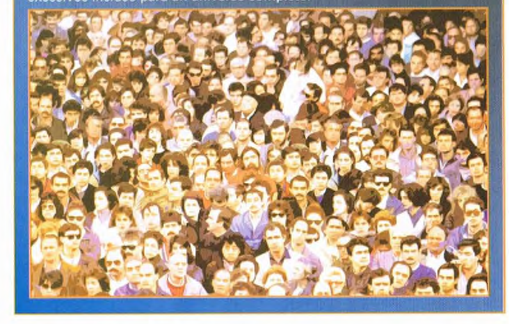
El camino justo para resolver la paradoja es considerar un universo más real y próximo al que conocemos por la observación y teóricamente según la teoría del Big Bang. Una de las leyes fundamentales que regulan

Abajo, la histórica fotografía obtenida con el telescopio de nueva tecnología NTT del ESO (Observatorio Europeo Austral) en los Andes chilenos. Es una de las primeras imágenes obtenidas con este telescopio y muestra una vista profunda de galaxias hasta la magnitud 26. El campo visual está casi totalmente cubierto de galaxias. Aumentando el poder resolutivo, las galaxias adquieren un aspecto más nítido, pero también se presenta a la vista un número más elevado de galaxias.



EL HORIZONTE VISIBLE

Si nos encontramos en una plaza atestada de gente e imaginamos una densidad de personas uniforme, en la que cada persona dispone a su alrededor de una superficie *A*, como las estrellas en un universo infinito (segunda paradoja), en cada dirección posible veremos una persona, más cercana o más alejada, pero sin lograr ver el exterior de la aglomeración. Si indicamos con *d* el diámetro medio del espacio ocupado por cada persona, la distancia máxima *OV* hasta la que será posible ver será igual a A/d. En este radio habrán $\pi A/d^2$ personas. Pongamos un ejemplo de 4 m^2 por persona y un diámetro medio de 0,3 m: nuestra vista espacial llegará a 13,3 m y el número de personas visibles será de 140. Para las estrellas, la cuestión se hace tridimensional, el horizonte visible es igual a V/a, donde *V* es el volumen medio que hay alrededor de una estrella y *a* la superficie que ofrece a la vista de un observador exterior. Se calcula que, para nuestro universo, este horizonte es de 1.023 años luz. También se calcula que el número de estrellas visibles dentro de este radio es de 1.060. Estos números son excesivos incluso para un universo completo.



este universo es que toda información, incluso la radiación luminosa, se transmite con una velocidad finita, limitada por la velocidad de la luz, del orden de 300.000 km/s. Esto significa que cuando miramos a lo lejos, en realidad vemos la luz que se emitió en un tiempo pasado y, al medir las distancias en años luz, el número que se indica significa los años que hace que fue emitida la luz que estamos viendo. Así, hoy vemos la galaxia de Andrómeda tal como era hace unos dos millones de años. Y si el horizonte visible para un universo infinito de estrellas fuese igual a 1.023 años luz, se deduce que deberíamos observar galaxias de 1.023 años de antigüedad. Actualmente sabemos que la vida media de una estrella es solamente de unos 10.000 millones de años. Nuestro Sol existe desde hace unos 4.500 millones de años y resplandecerá durante otros tantos años. Y también suponemos que todas las estrellas se han encendido hace 10.000 millones de años, pero al observar a mayores distancias que ésta, no veremos brillar ninguna estrella, porque en aquel tiempo (o a aquella distancia) todavía no había nacido ninguna. Y la contribución de las envolturas esféricas que distan más de 10.000 millones de años luz será nula. Por esto, el cielo nocturno resulta muy oscuro. Si el universo fuese infinito, este razonamiento también tendría la misma validez. Las estrellas que ahora distan de nosotros más de 10.000 millones de años son

Galaxias todavía no visibles

Tierra

El tiempo transcurrido desde el principio del universo, unos 10.000 millones de años, limita nuestra capacidad de observar la luz procedente de las estrellas. Las estrellas que están más allá de este límite ya están produciendo luz, pero todavía no nos ha llegado. Con el paso del tiempo, el límite del universo observable aumenta y, con nuestros telescopios, cada vez se podrán ver más galaxias.



¿NOCHE U OSCURIDAD?

La asociación lógica entre «noche» y «oscuridad» expresa un hecho evidente para los hombres desde su aparición sobre la Tierra. Sin embargo, los múltiples intentos de darle una explicación científica han sido inútiles. Sólo la cosmología moderna, sirviéndose del modelo del Big Bang, ha logrado dar una explicación coherente a este problema.

LA LUZ EXTRAGALÁCTICA DE FONDO

El cielo nocturno no es totalmente negro. La luz de las galaxias del fondo se mezcla y se suma en lo que se ha definido como luz extragaláctica de fondo. Su medición directa todavía no se ha hecho debido a su debilidad en comparación con las contribuciones de la atmósfera terrestre, de la luz zodiacal y de las estrellas de nuestra Galaxia. Se ha fijado un límite superior para esta luz igual a unas tres estrellas de magnitud 10 por cada grado cuadrado de cielo. Esta iluminación es más de un millón de veces más débil que la de una estancia iluminada con una bombilla de 100 W.

para nosotros todavía nubes de gas que no emiten luz y, por tanto, todavía no podemos observarlas. La solución de la paradoja de Olbers reside en la juventud del universo, por lo que sólo hay un pequeño número de estrellas lo suficientemente próximas a nosotros para que la luz que emiten haya tenido tiempo de alcanzarnos. Para nosotros, las demás estrellas aun son invisibles.

UNA EXPANSIÓN HOMOGÉNEA

Además, nuestro universo está en expansión. Las observaciones de Hubble en 1929 demostraron que las galaxias se alejan de la nuestra con una velocidad proporcional a su distancia. Esto significa que todo el universo está sometido a una expansión homogénea. La velocidad de alejamiento reduce la energía de la luz observada desde la Tierra a causa del efecto doppler, que provoca el desplazamiento hacia el rojo y hace aumentar la longitud de onda de los fotones recibidos, disminuyendo su energía. Un fotón de color azul se hace más rojo con una energía menor. Este efecto también contribuye a reducir la cantidad de luz que se observa en el cielo nocturno. Recientemente, el astrónomo estadounidense Wesson ha llevado a cabo los cálculos necesarios para estimar la importancia que tiene la contribución de la expansión. Sus resultados son válidos para cualquier tipo de universo con curvatura del espacio-tiempo y también con una geometría plana, demostrando que la contribución de la expansión por sí sola no podría resolver la paradoja y que el factor dominante se debe al hecho de que nosotros no podemos ver lo suficientemente lejos para superar la edad del universo.

TAURO

La soberbia constelación de Tauro contiene el más bello de los cúmulos abiertos, el de las Pléyades.



Grande y antigua, la constelación de Tauro se impone en las noches invernales del hemisferio norte, mostrándose rica en objetos y colores: desde el blanco azulado de las Pléyades hasta el rojo de Aldebarán.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

Es difícil que el grupo de las Pléyades pase desapercibido incluso al ojo más distraído. Sin embargo, un método seguro para identificar Tauro consiste en seguir el alineamiento de las tres estrellas del Cinturón de Orión hacia el noroeste. A unos 20° de distancia se encuentra el triángulo dibujado por las Híadas, que se identifica con la cabeza del toro celeste.

ESTRELLAS NOTABLES

Aldebarán (magnitud 0,9), la estrella Alfa de la constelación, está situada en uno de los vértices del mencionado triángulo de as Híadas, pero no forma parte del cúmulo, porque se encuentra a menos de 70 años luz de nosotros. Es una estrella supergigante roja, como lo atestigua su color. Beta (magnitud 1,7) conocida como El Nath,



La nebulosa del Cangrejo es uno de los objetos más estudiados del cielo. Se trata del resto de la supernova que estalló en 1054 y que fue observada por los astrónomos chinos de la época.

es la segunda estrella de Tauro en luminosidad y constituye uno de sus cuernos. A diferencia de Alfa, ésta es caliente, porque se trata de una gigante azul.

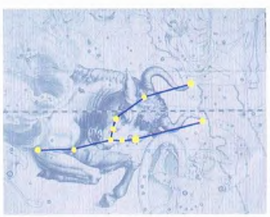
Contiene los sistemas dobles separables con prismáticos: Theta, constituido por dos estrellas de magnitud 3,4 y 3,8, y Sigma (magnitudes 4,7 y 5,1). Ji ofrece un interesante contraste de colores, cuyas componentes azul (magnitud 5,5) y amarilla (magnitud 8,2) requieren un pequeño telescopio para resolverlas.

En cambio, Lambda es una estrella que varía de luminosidad entre las magnitudes 3,3 y 3,8 por la presencia de una compañera con la que produce eclipses recíprocos con un período igual a cuatro días.

LAS PLÉYADES Y LAS HÍADAS

El más conocido de los cúmulos abiertos es, sin duda, M5, el de las Pléyades, formado por unas dos mil estrellas situadas a 400 años luz de nosotros. Se puede identificar a simple vista como un pequeño grupo de seis o siete estrellas de magnitudes comprendidas entre 3 y 5, en una región del cielo más amplia que el disco lunar. Son astros jóvenes, nacidos hace pocas decenas de millones de años de una nebulosa cuyos restos son visibles alrededor de las estrellas más luminosas del cúmulo en las fotografías de larga exposición. Instrumentos de diámetro cada vez mayor muestran un creciente número de astros, aunque ampliaciones no demasiado grandes permiten observar el grupo entero.

En cambio, las Híadas forman un cúmulo más cercano, porque sólo está a una distancia de 150 años luz de la Tierra y también son más viejas. Como están esparcidas por una región del cielo de 5° de diámetro, los prismáticos son el mejor medio para la observación del conjunto.



La constelación de Tauro había sido identificada con un toro por muchos pueblos antiguos; para los egipcios se trataba del dios Apis.

QUÉ QUEDA DE LA «ESTRELLA HUÉSPED» DE 1054

En 1054, los astrónomos chinos observaron una estrella «huésped», es decir, nunca vista antes en la región correspondiente a la constelación de Tauro. Con el paso de los días, la luminosidad de la estrella aumentó hasta poder verse incluso durante el día. Después disminuyó hasta hacerse invisible. Hoy sabemos que el astro era una supernova, es decir, una estrella que muere en una catastrófica explosión. El resto de aquella explosión es M1, la nebulosa del Cangrejo, situada junto a Zeta *Tauri*.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

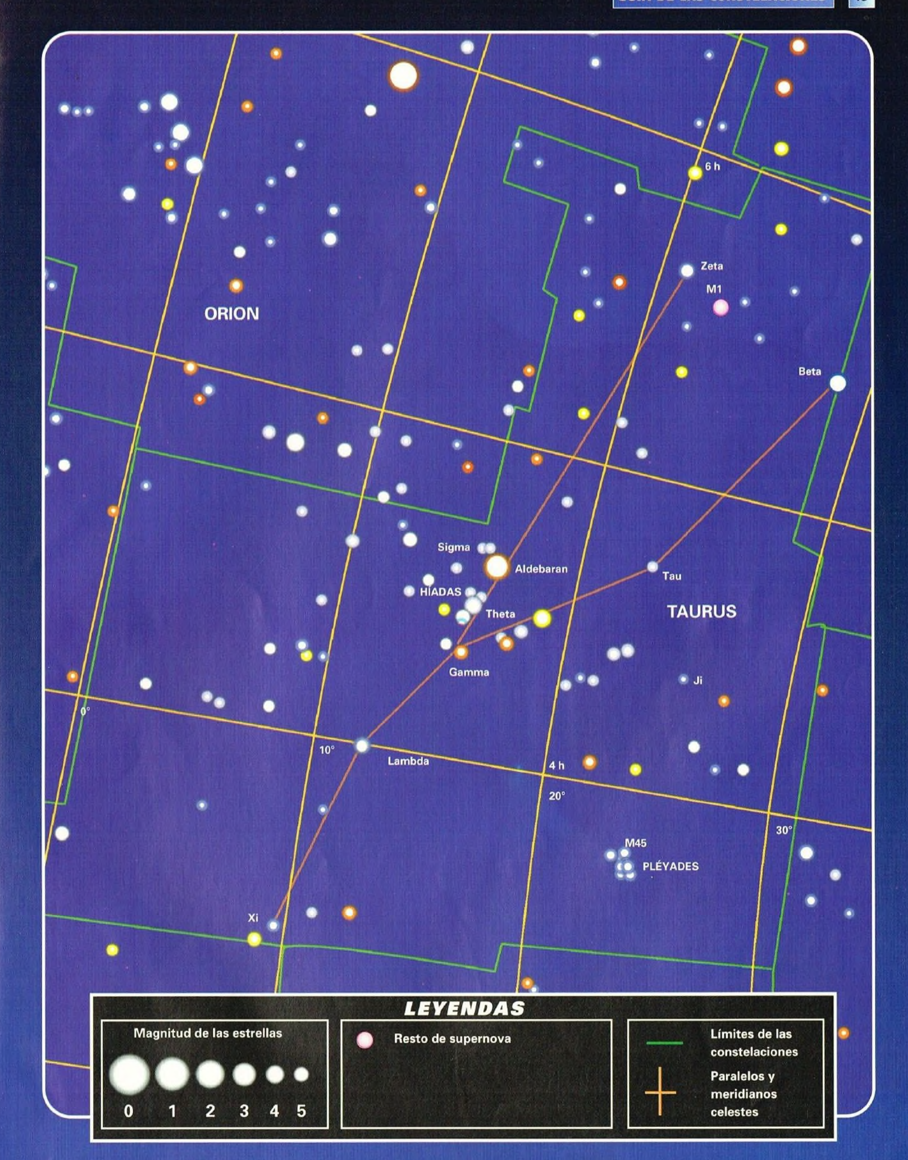
TAURO

Muchas son las leyendas vinculadas a Tauro, como las Pléyades y las Híadas. Según una de ellas, la constelación representa el toro en que se transformó Júpiter para seducir a Europa, la hija de Agenor, rey de Fenicia. La muchacha estaba jugando en la orilla del mar con sus compañeras cuando se aproximó una manada de bueyes. Entre éstos también había un bellísimo toro blanco, que no era otro que Júpiter. Europa se sintió atraída por el espléndido animal y le adornó la cornamenta con guirnaldas. El animal la hizo subir sobre su grupa y, antes de que la muchacha se diese cuenta del peligro, se lanzó al mar y empezó a nadar hasta que llegó a Creta, donde recobró el aspecto de un dios. Júpiter consiguió seducir a Europa y de su unión nació Minos.

DÓNDE BUSCARLA

TAURO

La constelación zodiacal de Tauro abarca una región del cielo comprendida entre 3 horas 20 minutos y 6 horas de ascensión recta, y entre 0° y 30° de declinación, aproximadamente. Limita con las constelaciones de Perseo, Áuriga, Géminis, Orión, Eridano, Aries y la Ballena.



ORION
TAURUS
6 h
Zeta
M1
Beta
Sigma
Aldebaran
HIADAS
Theta
Tau
Gamma
Ji
0°
10°
Lambda
4 h
20°
30°
M45
PLÉYADES
Xi
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Resto de supernova
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LOS LANZADORES DE EEUU

A partir de los pequeños cohetes que sólo podían colocar en órbita algunas decenas de kilogramos de carga útil, los estadounidenses lograron, en el transcurso de pocos años, construir la gigantesca máquina, el Saturno-5, que permitió al hombre ir a la Luna.



Sin duda, el transbordador espacial ha provocado una notable revolución en el campo de los transportes espaciales. Puede reutilizarse una y otra vez, permitiendo así un considerable ahorro en la colocación de hombres y satélites en órbita terrestre.

Hasta la construcción del transbordador en los años setenta, sólo existía otro tipo de lanzador, que los estadounidenses llamaban *expandable*, es decir, «consumible», con diversas capacidades de carga. En otras palabras, los cohetes formados por una, dos o tres etapas se perdían completamente una vez terminada su misión de poner en órbita terrestre o más allá de ella la carga útil. Actualmente, algunos de estos lanzadores continúan siendo operativos y, en determinadas situaciones, compiten con el propio transbordador. La familia de estos cohetes, tanto obsoletos como en activo, está constituida por el Scout, el Delta, el Atlas, el Titan y el Saturno, todos ellos en diversas configuraciones, debidas a las diferentes exigencias, y utilizables según la carga y el tipo de misión.

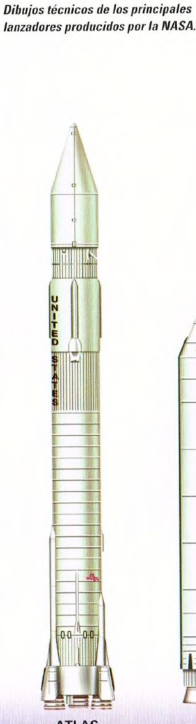
Dibujos técnicos de los principales lanzadores producidos por la NASA.



SCOUT
versión de 1972



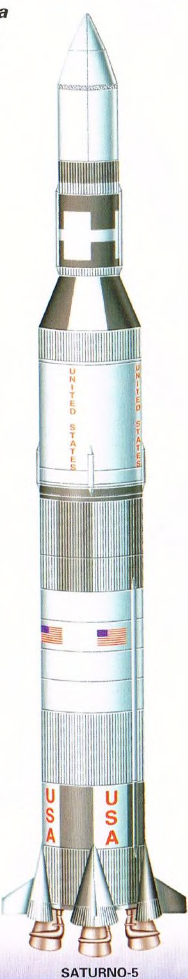
DELTA
versión de 1982



ATLAS
versión de 1977



TITAN
versión de 1982



SATURNO-5
versión de 1973

EL SCOUT

Este cohete toma cuerpo al mismo tiempo que el nacimiento de la NASA, en 1958. Tenía que responder a la exigencia de poner en órbita satélites de pequeño tamaño y, por tanto, de poco peso. El cohete se diseñó tomando y combinando algunos cohetes de combustible sólido que ya existían y se utilizaban en el ámbito militar, dando así vida a una solución realizable con fiabilidad en poco tiempo.

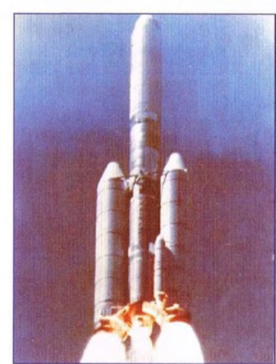
El cohete Scout debía resarcir la amarga experiencia del cohete Vanguard, al que se le confió la misión de poner en órbita el primer satélite artificial estadounidense pero estalló en la rampa de lanzamiento y con el satélite a bordo en el momento de la partida ante millones de personas que lo vieron en directo por televisión. Los primeros vuelos del Scout empezaron en 1960; si partía de cabo Cañaveral colocaba en órbita baja 59 kg de material y si salía de la base de Vandenberg, 44 kg. Al aumentar posteriormente su potencia, el Scout pudo poner en órbita satélites de hasta 188 kg de peso.

EL DELTA

Éste es seguramente el lanzador de satélites más empleado desde 1960. En aquel año entró en servicio con el nombre de Thor Delta y se derivaba de un misil de alcance mediano de la Fuerza Aérea de Estados Unidos, construido en 1957. El primer Delta sólo podía llevar a una órbita muy baja 96 kg. Hoy, las diversas versiones pueden transferir a órbitas de hasta 35.000 km de la Tierra varios centenares de kilogramos de carga útil. Dos de sus versiones empleaban como tercera etapa el cohete de combustible sólido denominado PAM (Payload Assist Module). Este cohete puede emplearse independientemente después de que el transbordador lo haya llevado al espacio junto con su carga útil, por ejemplo. El Delta puede colocar satélites en la órbita deseada, incluso a distancias de miles de kilómetros de la superficie terrestre. Con el Delta se han puesto en órbita la mayor parte de los satélites para las telecomunicaciones estadounidenses y occidentales en general. Es un cohete muy fiable, a pesar de que en enero de 1997 explotó unos pocos segundos después de su salida. El cohete llevaba a bordo algunos satélites de la serie GPS.



Momento del lanzamiento del lanzador Titan-Centaur que transportaba una cápsula Voyager destinada a viajar hacia el sistema solar exterior.



Lanzador Titan III D, que colocó en órbita un satélite de reconocimiento Big Bird.

EL ATLAS-CENTAUR

El lanzador Atlas-Centaur fue diseñado por la NASA para el lanzamiento de cargas útiles de peso intermedio y a veces superior a los de la clase Delta.

Puede enviar satélites tanto en órbita baja (a algunos centenares de kilómetros) como en órbita alta (a miles de kilómetros), o bien enviar sondas hacia planetas del sistema solar. El Atlas-Centaur se hizo operativo en 1966 con el lanzamiento de la sonda Surveyor-1, que fue el primer vehículo estadounidense en posarse sobre la Luna.

EL TITAN

La familia de los lanzadores Titan nació de los cohetes que utilizaba la Fuerza Aérea de Estados Unidos entre finales de los años cincuenta y principios de los sesenta para poner en órbita satélites de tamaño mediano. Su altura total es de 31 m. Desde sus primeros vuelos, ocurridos en 1962, resultó ser el cohete más potente del arsenal militar estadounidense. El Titan-2, en su versión mejorada, fue elegido por la NASA para el lanzamiento de las cápsulas Gemini con hombres a bordo.

Desde entonces han aparecido otras 14 versiones del Titan y la más potente de ellas

es el lanzador espacial con la mayor capacidad de empuje, después del abandono de la construcción del Saturno-5, utilizado para las misiones lunares.

Por esto, el cohete también se ha utilizado muy a menudo en misiones civiles.

Como tercera etapa utiliza un propulsor IUS (Inertial Upper Stage), realizado para la transferencia de satélites pesados desde el transbordador, que vuela desde una órbita de transferencia a una órbita geoestacionaria a miles de kilómetros de altura.

SATURNO-5

Todo era increíblemente grande en el Saturno. Era el cohete que se había pensado y diseñado para la mayor aventura del hombre: la conquista de la Luna. Cuando llevaba la cápsula Apollo en su parte más alta, tenía una altura de 110,6 m. Su primera etapa, o de despegue, era el mayor cilindro de aluminio que nunca había producido una máquina, sus válvulas eran tan grandes como toneles, sus bombas de alimentación tenían un tamaño similar a las de un frigorífico, las conducciones eran suficientemente amplias para que un hombre pudiese deslizarse por su interior y sus motores tenían el tamaño de un gran autobús. Estaba constituido por cuatro secciones muy diferentes.

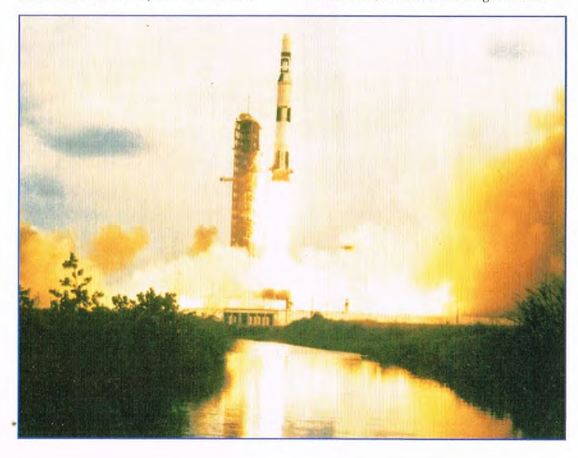
Primera etapa (S-I): seguramente era la etapa más probada, porque era la ampliación de lanzadores anteriores. Quemaba queroseno en oxígeno líquido, por lo que se consideraba un poco anticuado, pero a Werner von Braun, que había diseñado el conjunto del cohete, le gustaba porque era fiable. Esta etapa tenía 42 m de altura con un diámetro de 10 m. Pesaba la friolera de 139 toneladas sin combustible y cuando estaba lleno llegaba a las 2.159 toneladas. En la parte inferior de la etapa había cinco motores agrupados, los cuales consumían las 770 t de queroseno y las 1.250 t de oxígeno líquido en dos minutos y medio. Cada motor producía un empuje de 680.000 kg. Este alarde de fuerza llevaba los 2,8 millones de kilogramos del conjunto Saturno-Apollo a más de 60 km de altura, alcanzando la velocidad de 9.800 km/h. En aquel punto, la etapa ya era superflua y, por tanto, después de desconectarse del resto del cohete, se desprendía y caía a la Tierra.



Lanzador Saturno-5 fotografiado en el Kennedy Space Center, Florida, durante una fase preparatoria de su lanzamiento.

Segunda etapa (S-II): era entonces el vehículo propulsado por hidrógeno más potente que nunca se había construido. La etapa completa medía 24,86 m de altura y 10 m de diámetro y constaba básicamente de dos tanques de paredes finas para el combustible y de cinco motores. Pesaba unas 470 t, de las cuales el 90% correspondía a los combustibles. Los tanques contenían 1.013 t de hidrógeno líquido y 330 t de oxígeno líquido. Cada motor desarrollaba hasta 102.000 kg de empuje. Estos motores funcionaban durante 5 minutos y llevaban la cápsula Apollo, con la tercera etapa, a una órbita situada a 185 km de altura y a una velocidad de 24.800 kilómetros por hora.

Tercera etapa (S-IVB): tenía una altura de 17,85 m y pesaba lleno de combustible 108 t. Esta etapa debía efectuar una maniobra algo particular: encenderse dos veces en el espacio. Tenía un solo motor que debía encenderse una primera vez cuando el vehículo se estaba aproximando a la órbita terrestre preestablecida antes de efectuar el salto hacia la Luna. Funcionando durante dos minutos, debía colocarse a sí mismo y a su carga Apollo en órbita a una velocidad de 28.000 km/h. Después, el motor debía volver a encenderse durante otros cinco minutos



Lanzamiento de la estación espacial Skylab, en mayo de 1973, con un lanzador Saturno-5. La primera fase del vuelo no fue muy tranquila y la Skylab sufrió serios daños.



Arriba, momento del lanzamiento del Apollo-4, transportado por un lanzador Saturno-5.

para llevar a los astronautas fuera de la órbita terrestre baja y conducirlos hacia la Luna. La tercera etapa llevaba consigo 238 t de hidrógeno líquido y 75 t de oxígeno líquido.

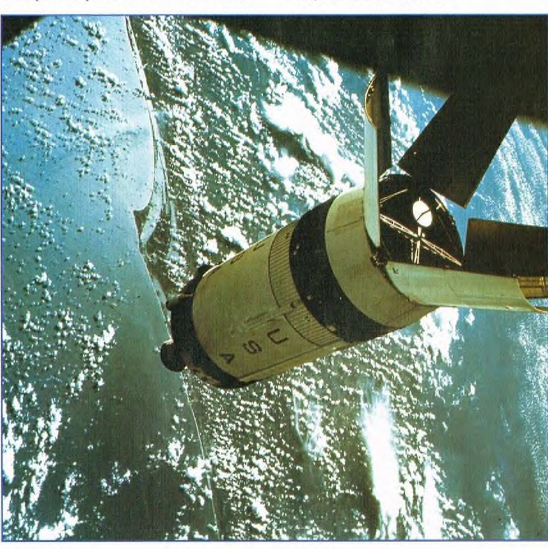
Uno de los más arduos problemas de construcción del Saturno-5 fue el acoplamiento de las diversas etapas de la gran máquina. Nadie había intentado nunca soldar láminas ultrafinas de aleación de aluminio para obtener un cilindro de 10 m de diámetro. Una soldadura débil podía hacer pedazos el vehículo entero. La decisión de emplear hidrógeno líquido como combustible para los motores de la segunda y de la tercera etapa planteó otros importantes problemas a los ingenieros. El empleo de hidrógeno líquido se debe a la sugerencia del ruso Konstantin Tsiolkovski, el genial pionero de la astronáutica que vivió a principios de este siglo. Él fue, entre otros, el que propuso construir cohetes de etapas para poder abandonarlas y reducir peso. Además, también había indicado que el hidrógeno líquido sería el combustible más eficaz para los cohetes. Sin embargo, hasta finales de los años cincuenta no se logró producir y conservar hidrógeno líquido en cantidad suficiente para accionar un cohete. En efecto, para que el hidrógeno se mantenga líquido, debe almacenarse a –253 °C, porque, de otra manera, se convertiría en gas y se evaporaría. Esto significaba conservarlo en tanques fuertemente aislados. En 1962, un cohete Centaur explosionó después de su despegue, cuando un panel aislante se soltó demasiado pronto y dejó el hidrógeno expuesto al calor. Para la tercera etapa del Saturno-5, la empresa constructora tardó dos años en encontrar un aislamiento a base de plástico para el tanque, las conducciones y las válvulas, así como para todo lo que quedase en contacto con el propulsante superenfriado. El hidrógeno líquido arde al ponerse en contacto con el oxígeno líquido, que debe mantenerse a temperaturas inferiores a –180 °C.

El constructor de la segunda etapa se encontró ante un problema todavía más difícil: las paredes del tanque debían construirse al mismo tiempo que las paredes del cohete. En la superficie exterior del tanque se colocó un revestimiento de fibra de vidrio en forma de nido de abeja, lo que convirtió la etapa en un gigantesco termo. Pero la elección de estos elementos fue realmente útil. El hidrógeno es el más ligero de los elementos: un litro de hidrógeno líquido pesa 72 g, frente a los 950 g de la misma cantidad de queroseno. Por tanto, un tanque más pequeño podía contener una mayor cantidad de hidrógeno. Los técnicos del Saturno se propusieron efectuar un primer lanzamiento de prueba de su gran cohete en 1966 o a principios de 1967, pero los problemas de construcción que debieron solucionarse, así como dos explosiones ocurridas durante las pruebas, produjeron un retraso. Pero cuando por fin todo estuvo a punto, los ingenieros estaban seguros de las prestaciones de su gran cohete: lograr el envío de seres humanos hacia la más grande empresa espacial, la conquista de la Luna.

DEMASIADO GRANDE PARA CUALQUIER ESTRUCTURA TERRESTRE

El transporte de las diversas partes del Saturno-5 fue, en sí misma, una difícil empresa. La primera y la segunda etapa se transportaron por mar mediante un buque especial. En cambio, la tercera etapa llegó a cabo Cañaveral a bordo de un avión de transporte agrandado con ese objeto. Para ensamblar las tres etapas fue necesario construir un edificio completamente nuevo cercano a la rampa de lanzamiento. El VAB (Vehicle Assembly Building) tenía una altura de 160 m, una longitud de 218 m y una anchura de 158 m. Con sus más de 5.500.000 m³ de cabida, era el mayor edificio del mundo.

La tercera etapa del Saturno-5 se desengancha del Apollo-8 a 200 km de altura.



ESPAÑA Y EL ESPACIO

La participación española en proyectos espaciales se inició el 7 de mayo de 1942 con la creación del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), organismo que coordina la investigación aeronáutica con las aplicaciones espaciales desde 1963. Nacido con el objetivo de mantener y renovar el legado aeronáutico de la guerra civil, el INTA se perfiló como centro de investigación en materia aeroespacial, de la mano de Esteban Terradas.

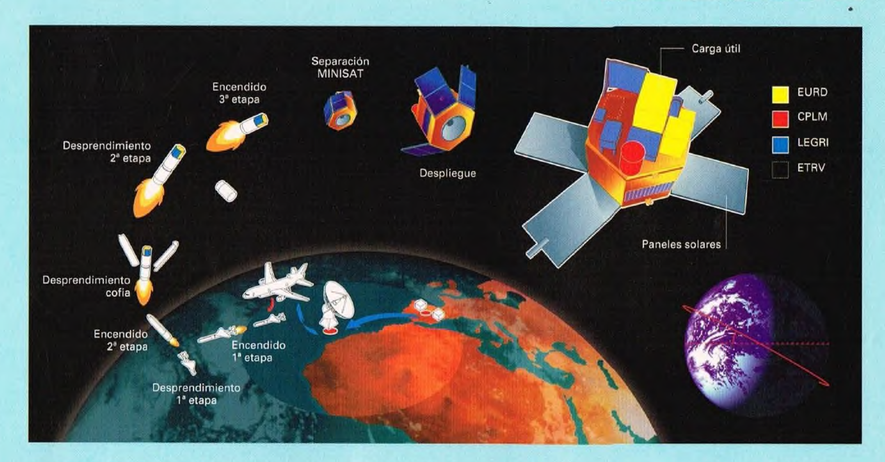


El establecimiento de diversas estaciones de seguimiento de satélites en territorio español –Maspalomas (Gran Canaria), Robledo de Chavela (Madrid), Villafranca del Castillo (Madrid) y Cebreros (Ávila)– ha constituido la piedra angular de la actividad espacial en este país. Al amparo de la Comisión Nacional de Investigación del Espacio, el INTA ha llevado a cabo una política pionera en materia aeroespacial, en la que destaca el lanzamiento de los cohetes INTA-100 e INTA-300, el desarrollo del INTASAT, primer satélite español puesto en órbita (mediante un lanzador estadounidense), o la realización de un millar de lanzamientos de dispositivos de sondeo desde el campo de El Arenosillo (Huelva). El INTA ha visto, recientemente, coronados sus éxitos con el lanzamiento del MINISAT-01, el primer satélite español puesto en órbita desde España.

Junto a su papel de líder en el desarrollo e implantación de la tecnología espacial en España, el INTA participa en diversos programas de colaboración con instituciones como la NASA, la ESA, Matra Aeritalia o British Aerospace, junto a empresas nacionales como CASA o el Ministerio de Defensa, y en proyectos de gran envergadura como HIPPARCOS, EURECA, ARIANE, OLYMPUS o ITALSAT. En particular, el instituto ha desarrollado el diseño y la construcción de diversos componentes de satélites de la Agencia Espacial Europea (ESA), como el sistema de iluminación del laboratorio espacial Spacelab.

El INTA trabaja en numerosas áreas de investigación: aerodinámica y navegabilidad, armamento aeronáutico, aviónica y electroóptica, energía y propulsión, espacio, estructuras y materiales estructurales, combustibles, informatización y mantenimiento de estaciones de seguimiento. Dispone de una estación de seguimiento de satélites propia, que es Maspalomas. Merced a acuerdos bilaterales con la NASA y la ESA, el INTA opera y mantiene la estación de Robledo de Chavela (NASA), así como la estación de Villafranca del Castillo (ESA).

Los HISPASAT fueron lanzados el 10 de septiembre de 1992 y el 22 de julio de 1993. Son satélites de telecomunicaciones.



ESTACIONES DE SEGUIMIENTO EN TERRITORIO ESPAÑOL

• ESTACIÓN ESPACIAL DE ROBLEDO DE CHAVELA
Situada a 60 km al oeste de Madrid, esta estación de la NASA, creada en 1965, está administrada por el INTA. Robledo de Chavela pertenece a la red de seguimiento de vehículos espaciales de la NASA.

La estación dispone de antenas parabólicas tipo Cassegrain para comunicaciones terrestres e interplanetarias, de diámetros 64, 34 y 26 m, dotadas de radioenlaces en diversas bandas. Asimismo, dispone de equipos de interferometría de muy larga base (VLBI) para estudios de radioastronomía y sincronización con otras estaciones de seguimiento. Ha participado en múltiples misiones espaciales, como el seguimiento de las sondas Voyager 1 y 2. También ha participado como estación de apoyo en el lanzamiento y puesta en órbita de numerosos satélites.

• MASPALOMAS
Situada al sur de la isla de Gran Canaria, esta estación dispone de una antena parabólica orientable de 10 m de diámetro (receptora en banda S), integrada a la red europea de seguimiento EARTHNET para la recepción y tratamiento de imágenes transmitidas por satélite. Asimismo, dispone de receptores y deconmutadores para los datos de los satélites NIMBUS y LANDSAT.

La actividad del INTA en Maspalomas se estableció mediante un contrato con la ESA para la recepción de datos del NIMBUS-7, así como para la producción de cintas para ordenador con los datos de los sensores CZCS (Coastal Zone Color Scanner) y SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer) del citado satélite.

• ESTACIÓN DE VILLAFRANCA DEL CASTILLO
Está situada a 25 km al oeste de Madrid; aunque pertenece a la ESA, el mantenimiento y la operatividad

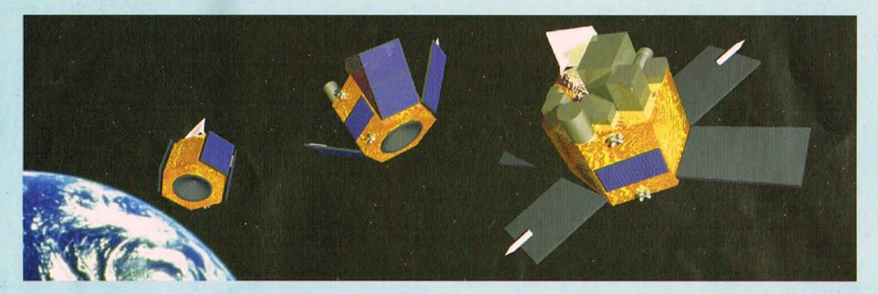
El lanzamiento del MINISAT-01 se inició con el despegue del Tristar L-1011 de Torrejón de Ardoz. Tras relizar una escala en Gando, el avión lanzó un cohete Pegasus que puso en órbita el satélite el 21 de abril de 1997.

La estación de seguimiento de Maspalomas es uno de los centros que participa en la misión MINISAT-01.

LANZAMIENTOS AIRE-ESPACIO

Las primeras experiencias de lanzamientos aire-espacio se remontan a los años cincuenta, con uno de los primeros B-52, como nodriza del avión cohete X-15. Mediante este tipo de lanzamiento, se obtiene un importante ahorro de combustible dado que la primera fase de aceleración corre a cargo de un avión de reacción. Por otro lado, el lanzamiento evita las capas más densas de la atmósfera terrestre donde se produce un mayor frenado aerodinámico. El propulsor aire-espacio no sólo reduce en algo más de un 50% la masa del cohete, sino que permite el lanzamiento desde cualquier lugar de la Tierra. No obstante, este tipo de lanzamientos se restringe al uso de satélites de poca masa, dadas las limitaciones de carga de los aviones convencionales.
Para el lanzamiento del MINISAT-01 se ha utilizado un cohete Pegasus, creación del ingeniero español Antonio Elías. Hasta la fecha, se habían lanzado siete sondas mediante este sistema, de las cuales cuatro habían tenido pleno éxito. Actualmente, España estudia el desarrollo del primer lanzador español con capacidad orbital, el Capricornio, sin olvidar las ventajosas posibilidades ofrecidas por aviones transatmosféricos como el alemán Sanger o el británico Hotol.





En la imagen de arriba, detalle del despliegue del MINISAT-01.

OTROS SATÉLITES ESPACIALES ESPAÑOLES

INTASAT: fue lanzado con un cohete Thor Delta de la NASA, desde la base californiana de Vandenberg el 15 de noviembre de 1974. Su misión científica fue el estudio de la ionosfera terrestre.

HISPASAT 1A y 1B: primera serie de satélites españoles de comunicaciones en órbita geoestacionaria. Fueron lanzados mediante cohetes Ariane el 10 de septiembre de 1992 y el 22 de julio de 1993, respectivamente. Su misión fue el establecimiento de canales de telecomunicaciones entre España y América.

UPMSAT-1: gestionado por la Universidad Politécnica de Madrid, fue lanzado el 7 de julio de 1995 mediante un cohete Ariane. Ha realizado diversos experimentos de microgravedad y telecomunicaciones.

de sus instalaciones corren a cargo del INTA. Los distintos dispositivos de la estación proporcionan seis radioenlaces con el espacio exterior mediante cinco antenas parabólicas (con diámetros de 4 a 15 m) y una antena de 9 dipolos orientables que opera en la banda VHF. La estación posee un laboratorio para el estudio de cargas útiles de los satélites de comunicaciones. De las misiones en que ha participado destacan: IUE (International Ultraviolet Explorer), proyecto coordinado por la NASA-ESA y SCR, MARECS (Maritime Communications Satellite, que proporciona enlaces telefónicos de alta calidad y canales de comunicación entre pesqueros de altura y estaciones costeras), EXOSAT (European X-ray Observatory SATellite, para el estudio en la banda X del espectro) y otros satélites de telecomunicaciones como el OTS o el ECS. Actualmente realiza el seguimiento del ISO (Infrared Space Observatory).

• CEBREROS

Situado en Ávila, se trata de un antiguo centro de la NASA, ya clausurado, transferido al INTA en abril de 1983. Fue concebido como estación de seguimiento y comunicación con sondas interplanetarias. Disponía de una antena parabólica orientable de 26 m de diámetro, transmisora y receptora en banda S. Ha participado en el seguimiento de diversas sondas como la HELIOS-1 o el PIONEER-12.

MINISAT-01: UNA VENTANA AL UNIVERSO

Uno de los logros recientes del INTA ha sido el lanzamiento del satélite MINISAT-01 mediante un cohete aire-espacio Pegasus XL. La campaña de lanzamiento se inició con la llegada a la base aérea de Torrejón de Ardoz de un avión Lockheed L-1011 de la compañía Orbital Sciences Corporation. Tras su puesta a punto, el L-1011 partió el 19 de abril de 1997 en dirección al cielo de Canarias. El 21 de abril, tras alcanzar una altitud de unos 10.000 m, el L-1011 liberó su preciada carga, el cohete Pegasus, responsable de la posterior puesta en órbita del MINISAT-01.

Junto a la versatilidad de este satélite para la investigación científica, su uso parece orientarse al mercado aeroespacial, donde España intenta lograr un puesto competitivo, rentable a nivel económico. Ante este reto tecnológico, el MINISAT-01 ofrece un uso polivalente. Parte de su estructura es invariable y contiene la instrumentación propia de un satélite. Sobre esta base pueden adaptarse diversos instrumentos simultáneos dedicados a los diferentes experimentos que debe realizar, ya sean del ámbito de las telecomunicaciones, o de cualquier otra misión de investigación espacial que pueda ser transportada por un minisatélite.

La misión MINISAT-01 permitirá realizar cuatro experimentos científicos: el EURD (Experiment for the detection of the Ultraviolet background RaDiation); el CPLM, dedicado al estudio del comportamiento de líquidos en condiciones de microgravedad; el LEGRI (Low Energy Gamma Ray Imager); y el ETRV, dedicado a experimentos tecnológicos.



El proyecto MINISAT-01 está dirigido por el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA).



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

INSTRUMENTOS PARA EL ESTUDIO DEL SOL

ESTRELLAS Y GALAXIAS

LOS ESPECTROS DE LAS ESTRELLAS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

ALTAR-PAVO REAL

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

LAS FORMAS DE LOS CUERPOS CELESTES

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

LA SONDA ULYSSES

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

34



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

INSTRUMENTOS PARA EL ESTUDIO DEL SOL

De todas las estrellas, el Sol es la más próxima a la Tierra. No es de extrañar, pues, que los científicos utilicen todo tipo de instrumentos para profundizar en el conocimiento del astro.

El Sol es la estrella más cercana a la Tierra, ya que dista sólo de ella unos 150 millones de kilómetros, muchísimo menos que los 4,3 años luz de *Proxima Centauri*, la segunda estrella en orden de distancia a nosotros. Por este motivo, el astro nos inunda con una gran cantidad de radiaciones de todo tipo. La emisión solar abarca prácticamente todo el espectro electromagnético, aunque para algunas bandas, como las de los rayos X y gamma, la atmósfera terrestre constituye un escudo casi impenetrable.

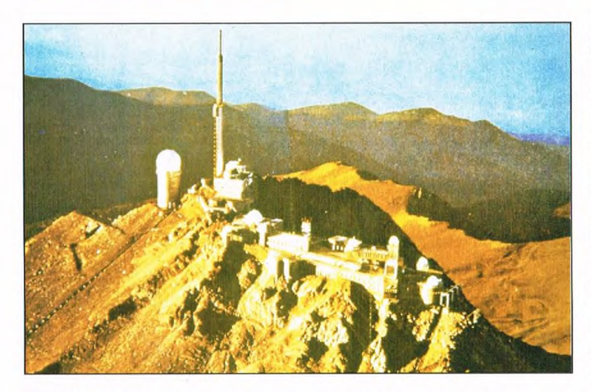
La comunidad científica trata de aprovechar al máximo la intensa radiación de origen solar para captar la mayor cantidad de información sobre la estructura de nuestra estrella. Para tal fin se utilizan los instrumentos más dispares con objeto de realizar un estudio óptimo en todas las longitudes de onda emitidas.

INSTRUMENTOS ÓPTICOS: LAS TORRES SOLARES

Naturalmente, la primera banda que se estudia es la de la luz visible. La copiosa cantidad de luz procedente del Sol permite estudios irrealizables con las demás estrellas. Pero ante todo conviene dotarse de los oportunos instrumentos capaces de recoger la luz solar. Además de los telescopios convencionales, se utilizan unas estructuras ideadas para el estudio del Sol conocidas como torres solares. Se trata de unos telescopios especiales cuyo sistema óptico, en parte fijo, está instalado en una estructura mucho mayor que los telescopios convencionales.

Un espejo móvil concentra sobre estos espejos fijos la imagen del Sol, siguiéndolo en su movimiento diurno; luego, la imagen se transfiere a unas cámaras donde tiene lugar la observación. La cámara de observación puede estar bajo tierra; el espejo móvil, o celostato, presenta la ventaja de ser más manejable que un telescopio entero de igual diámetro. Además, los movimientos que debe realizar están limitados en declinación entre ángulos mucho menores

Actualmente está en funcionamiento un observatorio muy especial, la sonda SOHO, situada en una órbita heliocéntrica que permite una observación continua del Sol. Este satélite lleva a bordo varios instrumentos que permiten ver nuestra estrella en diversas bandas del espectro.



La observación del Sol está muy perturbada por la turbulencia atmosférica, más que por los objetos visibles de noche, a causa del calentamiento del suelo y de los edificios de los observatorios. Por este motivo, los lugares elegidos para estudiar el Sol, como el observatorio de Pic du Midi, en los Pirineos, se encuentran en zonas montañosas. Gracias a su posición favorable, estos observatorios pueden suministrar imágenes muy detalladas.

que los de un sistema óptico diseñado para el estudio de toda la bóveda celeste. Con estos dispositivos se pueden estudiar estructuras presentes en la fotosfera, la parte de la atmósfera solar de la que nos llega la mayor parte de la luz visible: en primer lugar, las manchas solares, las regiones relativamente más frías de la fotosfera asociadas a intensos campos magnéticos; luego, las fáculas, las granulaciones y las eventuales fulguraciones.

En general, sin embargo, no se da una simple ojeada a la fotosfera, sino que se acopla el instrumento óptico a un espectrógrafo para analizar la luz emitida por nuestra estrella.

Si analizamos con un espectroscopio la luz del Sol, veremos una tupida serie de rayas superpuesta a un continuo formado por los colores del arco iris: se trata de las líneas de Fraunhofer, así llamadas en honor del científico que las descubrió. Estas rayas las producen los gases presentes en la atmósfera solar, que absorben selectivamente algunas longitudes de onda. El fenómeno tiene su origen en los saltos energéticos que realizan los electrones del gas al absorber fotones. Todo elemento químico puede absorber fotones a una longitud de onda determinada; esta absorción deja, por así decirlo, una huella digital que permite identificarlo. De este modo se ha podido estudiar la atmósfera solar; se ha descubierto, entre otros elementos, el helio, que precisamente debe su nombre al término *helios*, que en griego significa Sol.

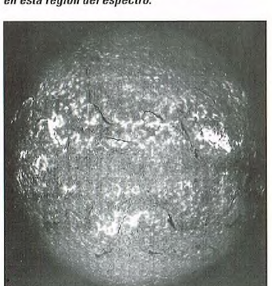
El análisis espectrográfico de la luz solar también da indicaciones sobre la presencia y la intensidad de eventuales campos magnéticos, pues en presencia de campos magnéticos relativamente intensos las rayas se dividen en dos o más en virtud de un fenómeno llamado efecto Zeeman. Se puede seleccionar una parte de la fotosfera y analizar la luz procedente de ella. Se ha comprobado que cerca de las manchas solares existen campos magnéticos cuya intensidad puede alcanzar varios miles de gauss. Se trata, pues, de campos miles de veces más intensos que el terrestre, cuya intensidad es de aproximadamente medio gauss.

ESPECTROHELIÓGRAFOS

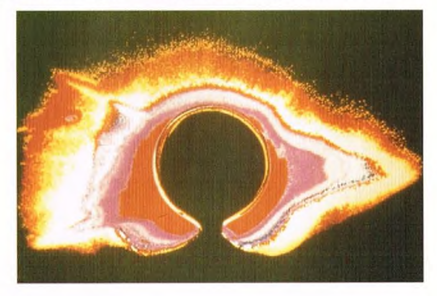
El hecho de que en el espectro solar estén presentes rayas significa que para las correspondientes longitudes de onda la emisión solar es menos intensa que para las longitudes de onda donde no hay una raya de absorción. Esto, a su vez, quiere decir que si pudiésemos seleccionar aquellas longitudes de onda veríamos un Sol mucho menos brillante que el que se ve cuando se observa con luz blanca, que comprende toda la luz visible. Por esta razón aparecieron los espectroheliógrafos, que sirven para obtener imágenes de la superficie solar a determinadas longitudes de onda seleccionadas.

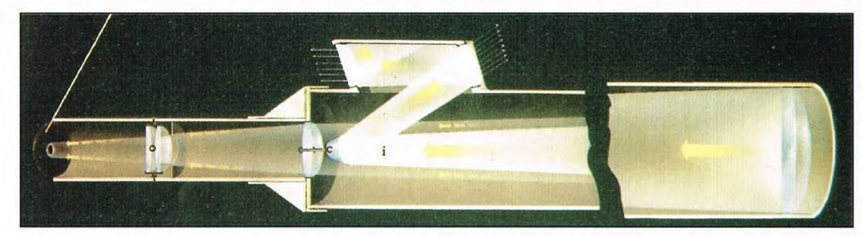
Si bien es cierto que la atmósfera solar, en conjunto, absorbe la radiación solar correspondiente a la raya seleccionada, también lo es que hay zonas que, en cambio, emiten la radiación de la raya. Por ello, un espectroheliograma, que es una fotografía obtenida con un espectroheliógrafo, nos

Abajo, un espectroheliograma, imagen del Sol obtenida seleccionando una longitud de onda precisa de la luz visible. Esta imagen muestra el Sol en la raya Hα producida por el hidrógeno; se obtienen así informaciones sobre la cromosfera, la zona situada encima de la fotosfera donde es máxima la emisión en esta región del espectro.



A la derecha, fotografía en ultravioleta de la corona solar.





El coronógrafo, inventado por Bernard Lyot, es un instrumento que permite crear un eclipse total artificial dentro de un telescopio. La idea, simple pero genial, consiste en colocar un pequeño cono dentro del telescopio de modo que intercepte la imagen del disco solar y sólo deje visible la corona.

muestra dónde hay la mayor producción de luz a la longitud de onda del instrumento utilizado.

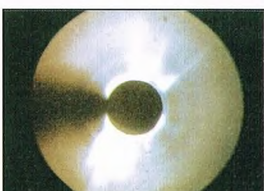
Ciertos espectroheliógrafos típicos observan el Sol en dos rayas características del calcio, llamadas rayas H y K. Les corresponde una gran absorción de luz, por lo que la imagen del Sol resulta fuertemente atenuada. Las imágenes tomadas a estas longitudes de onda muestran grandes emisiones cerca de las manchas solares y revelan detalles filamentosos en su superficie.

Un espectroheliógrafo muy importante es el que se centra en una de las rayas del hidrógeno, la llamada raya Hα, porque la mayor parte de la luz emitida en esta longitud de onda procede de una capa relativamente delgada de la atmósfera solar, la cromosfera.

EL CORONÓGRAFO

En los eclipses totales de Sol el disco de nuestra estrella queda oculto por el disco lunar. En estas condiciones, es posible observar la zona más externa de la atmósfera solar, la corona, que está compuesta por un gas muy caliente, a temperaturas del orden del millón de grados. Esta zona emite una gran cantidad de luz que, normalmente, destaca de aquella, más abundante, que procede del disco. Las dimensiones y la forma de la corona varían mucho durante el ciclo undecenal de actividad solar. Por ello, sería muy interesante poder estudiarla sin tener que esperar un eclipse total, un fenómeno no muy frecuente que tiene además la desventaja de ser breve y de poder observarse sólo excepcionalmente desde lugares donde hay un observatorio astronómico.

Se debe al astrónomo francés Bernard Lyot la invención del coronógrafo, un instrumento que permite crear un pequeño eclipse en un telescopio. Se trata de focalizar la imagen del disco solar sobre un cono que absorbe la luz o la refleja completamente, de tal modo que se detecta sólo la luz procedente de la corona. Mediante el coronógrafo es posible estudiar la corona incluso en ausencia de eclipses totales, aunque las imágenes obtenidas son de menor calidad que las que ofrece el espectáculo natural, al que siguen recurriendo los profesionales. A menudo el coronógrafo se combina con filtros que seleccionan la raya Hα y también un poco de luz emitida alrededor de ella; así es posible seguir, no sólo los fenómenos coronales, sino también la evolución de las protuberancias, las emisiones de gas en la superficie del Sol.



Esta imagen de la corona solar se ha obtenido con un coronógrafo, el instrumento que permite estudiar las capas más internas. La imagen recuerda la que se obtiene durante los eclipses totales, aunque su calidad, en comparación, es inferior. No obstante, son perfectamente visibles las principales estructuras de la corona, con zonas de mayor y menor luminosidad.

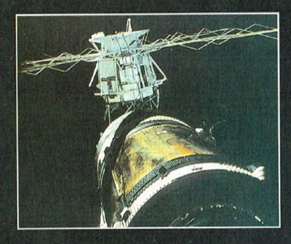


El Sol es una de las fuentes de radioondas más intensas de toda la bóveda celeste, por lo que se utilizan radiotelescopios para seguir el comportamiento de nuestra estrella. En comparación con los instrumentos ópticos, los radiotelescopios tienen la ventaja de poder operar también con cielos nubosos.

OBSERVACIONES CON RADIOONDAS

Los radiotelescopios han revelado que el Sol emite también una gran cantidad de radioondas, por lo que también esta banda del espectro electromagnético puede utilizarse para las observaciones solares. La actividad radioeléctrica del Sol, además, está fuertemente influida por el ciclo undecenal descubierto observando la cantidad de manchas presentes en la fotosfera. Dicha actividad es debida, entre otras cosas, al movimiento de las partículas cargadas en el seno de los campos magnéticos presentes en el Sol; éstos están muy condicionados por la actividad de nuestra estrella y las manchas son unos óptimos indicadores de la presencia de fuertes campos magnéticos en la superficie.

El instrumento más importante para el estudio del Sol en el ámbito de las radioondas es probablemente el radioheliógrafo de Culgoora, en Australia, formado por 96 antenas dispuestas a lo largo de una circunferencia de 3 km de diámetro. Esta singular disposición



A la izquierda, el Skylab, que en los años setenta fue un observatorio privilegiado para el estudio del Sol, ya que podía realizar observaciones en el ultravioleta y la banda X, algo imposible desde la Tierra debido a la absorción de estos rayos por la atmósfera terrestre.

de los radiorreceptores permite simular una antena de diámetro igual al de la circunferencia, incrementando así el poder de resolución del instrumento.

RAYOS ULTRAVIOLETA, X Y GAMMA

El Sol emite también una gran cantidad de rayos ultravioleta, la mayor parte de los cuales son bloqueados por la atmósfera; así pues, para un estudio eficaz en el ultravioleta es preciso salir de la envoltura gaseosa de nuestro planeta. Los observatorios adecuados son los que están en órbita, como la estación Mir o la ya desaparecida Skylab, los satélites artificiales y las sondas espaciales.

Las observaciones realizadas con detectores de radiaciones X y gamma en el espacio, instalados en globos aerostáticos o en satélites, han puesto de manifiesto que a estas longitudes de onda el Sol también es un potente emisor. La necesidad de realizar observaciones fuera de la atmósfera terrestre se debe a que ésta constituye un escudo opaco a dicho tipo de radiaciones. El hecho, que es una suerte para los seres vivos, porque los rayos X y gamma les son nocivos, es un obstáculo insuperable para el estudio del Sol. De ahí la necesidad de colocar en la alta atmósfera o en órbita dispositivos capaces de realizar observaciones en dicha banda de alta energía. Estos instrumentos han descubierto los llamados agujeros coronales, unas zonas de la corona solar donde la emisión de estas peligrosísimas radiaciones es prácticamente nula. La emisión de radiación muy energética, como los rayos X o los todavía más penetrantes rayos gamma, puede producirse en un gas muy caliente como el que constituye la corona. Con estos dispositivos, por tanto, podemos obtener informaciones sobre el comportamiento de las capas más externas de la atmósfera solar.

El estudio del Sol con rayos X es particularmente interesante para observar estructuras, como los arcos coronales, que pueden estar asociadas a fulguraciones.

En la imagen a toda página, una representación del Sol, donde se aprecian los agujeros coronales y el viento de partículas emitido por nuestra estrella.

EL VIENTO SOLAR

Además de la radiación electromagnética, el Sol emite continuamente una gran cantidad de partículas, sobre todo electrones y protones, que constituyen el llamado viento solar. Este flujo es bastante regular, pero puede aumentar bruscamente con las fulguraciones solares. Cuando esto sucede, en la Tierra se advierten perturbaciones en las radiocomunicaciones y se hacen visibles las auroras polares. No obstante, por intenso que sea el viento solar, sus partículas son bloqueadas por el campo magnético terrestre, que las obliga a desviarse de su trayectoria original y a entrar en unas bandas de radiación presentes en la alta atmósfera llamadas cinturones de Van Allen. Por ello, el estudio del viento solar puede llevarse a cabo sólo desde el exterior de la magnetosfera terrestre.

OTROS INSTRUMENTOS

En las sondas interplanetarias enviadas para observar otros objetos del sistema solar se instalaron también instrumentos que permitían analizar el medio interplanetario. Se trata sobre todo de analizadores de partículas, que suministran datos sobre la intensidad y la composición del viento solar, el flujo incesante de partículas emitido por nuestra estrella. Estas partículas son sobre todo protones y núcleos de helio, pero también electrones y núcleos de otros elementos. El efecto de la emisión de partículas solares, sobre todo con ocasión de las fulguraciones, se deja sentir con fuerza en la Tierra, ya que altera las características de la ionosfera, la región más alta de la atmósfera que rodea nuestro planeta. Así se desprende de las perturbaciones radio que se producen en concomitancia con estos cataclismos. La emisión del viento solar está ligada a los agujeros coronales, pues es precisamente en estas zonas donde más intenso es el flujo de partículas procedentes del Sol.

También en la Tierra hay analizadores de partículas muy especiales. Se trata de los detectores de neutrinos, las partículas más elusivas. Estos detectores están instalados en cavidades naturales o artificiales debajo de las montañas o en las profundidades de los océanos. Los neutrinos nos informan sobre lo que sucede en el interior del Sol. Los magnetómetros, por último, son unos instrumentos capaces de analizar el campo magnético interplanetario, dominado por el campo solar.



La torre solar de Kitt Peak es uno de los más grandes telescopios dedicados a la observación del Sol. El espejo que sigue los movimientos de nuestra estrella está situado en la cima de la torre vertical; desde allí, los rayos son enviados al interior de la parte inclinada, donde hay otros espejos que focalizan la imagen en una cámara subterránea. En ella se produce el análisis de la superficie del Sol.

LOS ESPECTROS DE LAS ESTRELLAS

La luz procedente de las estrellas es fuente de muchísimas informaciones. Analizándola se pueden determinar parámetros, como la temperatura y la composición química, que en otros tiempos habría sido impensable medir. Los potentísimos elementos que nos permiten estas precisas determinaciones son análogos a las huellas digitales de las personas. Se trata de los espectros estelares.



Un famoso filósofo positivista francés que vivió en la segunda mitad del siglo XIX, Auguste Comte, dijo una vez que «la astronomía es una de las ciencias que estudian los fenómenos más extraños al hombre». Quería decir con ello que los objetos de estudio de la astronomía diferían de los de las demás ciencias, con los cuales se puede establecer un contacto próximo, en cierto sentido «táctil». Comte, en su obra *Curso de filosofía positiva*, escrita después de 1830, menciona la composición química de las estrellas como ejemplo de algo incognoscible, cualquiera que sea el estado de la ciencia y la tecnología. El filósofo francés no podía prever que poco después de su muerte, en 1857, nacería la astrofísica, que hoy permite determinar qué elementos químicos componen una estrella y en qué proporciones, cuál es la temperatura del astro, su luminosidad intrínseca, etc.

Por descontado, existen hoy en la Tierra objetos mucho menos conocidos que las estrellas.

UN POCO DE HISTORIA: JOSEPH VON FRAUNHOFER

En el primer decenio del siglo XIX, Joseph von Fraunhofer, en aquel entonces aprendiz de constructor de espejos para anteojos, trabajaba en una tienda de Munich. Un día, por desgracia, la tienda se derrumbó y murieron sus ocupantes. Joseph se salvó milagrosamente y, después de algunas peripecias, entró en un nuevo establecimiento que estaba en la vanguardia de las construcciones ópticas. Al tratar de medir el poder de refracción de varios tipos de vidrio haciendo pasar luz a través de ellos, se dio cuenta de que, en la luz que salía, aparecían muchísimas líneas oscuras (contó 574) cuyo origen resultaba del todo inexplicable.



El arco iris constituye un ejemplo de separación de la luz solar en sus componentes, en este caso por obra de las gotitas de agua.

En 1814, Fraunhofer comprendió que dichas líneas eran del todo imputables al Sol, pues eran absolutamente idénticas para cualquier tipo de vidrio. Pero todavía no podía prever que sus estudios de óptica, al cabo de cuarenta años, sentarían las bases de la astrofísica moderna.



A la izquierda, Angelo Secchi, director del observatorio del Colegio Romano en la segunda mitad del siglo XIX, que fue uno de los precursores de la espectroscopia moderna. Secchi descubrió que las rayas de los espectros de las estrellas dependían del color de los astros.

LA DISPERSIÓN DE LA LUZ

Lo que Fraunhofer había observado era un fenómeno ya bien conocido en aquel entonces, la llamada dispersión de la luz, que había sido estudiada por Newton y después por William Herschel. El efecto se produce cuando se hace pasar luz blanca del Sol o de otra fuente a través de un cuerpo refringente. El más simple de estos dispositivos tiene forma piramidal y se conoce como prisma. En la vida cotidiana podemos observar la dispersión de la luz, por ejemplo, cuando los rayos del Sol, al entrar por una ventana, inciden sobre los cristales de una araña, produciendo fascinantes juegos de colores.

Al pasar a través del prisma, la luz blanca se separa en los colores fundamentales que la componen, del rojo al violeta. Lo mismo sucede cuando vemos en el cielo el arco iris, creado por la dispersión de la luz solar a través de las gotitas de lluvia. Colocando una pantalla blanca a la salida del prisma, se puede poner de manifiesto el espectro, que aparece como una banda coloreada cuyos colores fundamentales pasan gradualmente de uno a otro formando el llamado espectro continuo.

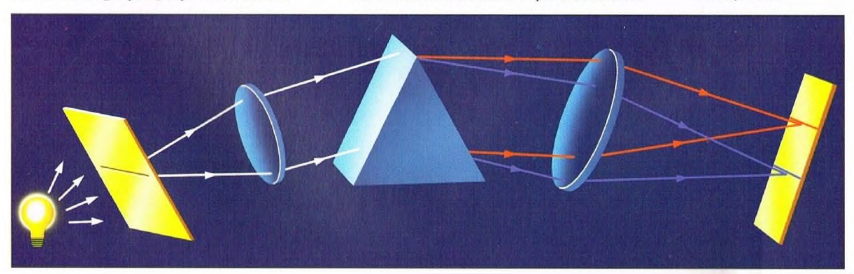
El descubrimiento fundamental de Fraunhofer fue que, superpuestas al espectro continuo, había delgadas líneas oscuras cuya posición era fija y característica. Sólo se logró interpretar estas líneas cuando se dispuso de una teoría lo bastante precisa de la estructura del átomo.

LOS NIVELES ATÓMICOS

La física moderna, como es sabido, describe el átomo como formado por un núcleo compacto y pequeñísimo, en el cual hay protones y neutrones, rodeado por una nube de electrones en movimiento. Éstos no están colocados aleatoriamente alrededor del núcleo, sino que se disponen en unas órbitas bien precisas, llamadas niveles atómicos, cada una de las cuales se caracteriza por un estado energético definido.

Si se toma un recipiente lleno de gas y se le suministra energía (por ejemplo, calentándolo), los electrones absorben parte de esta energía y pasan a ocupar órbitas más externas, más alejadas del núcleo. Pero la nueva situación es inestable, por lo que los electrones tienden a volver al nivel inicial liberando la energía absorbida en forma de fotones, es decir, de cuantos de luz. La energía del fotón es exactamente igual a la diferencia de energía de los niveles entre los cuales se ha producido el salto. Lo mismo vale en sentido inverso: si se quiere inducir una transición electrónica en un átomo, no se puede suministrar

Abajo, esquema de un espectrógrafo. La luz procedente de una fuente es colimada por una rendija. Sus rayos atraviesan luego una lente, de la que salen paralelos. Al pasar a través de un prisma, la luz se separa en sus distintos colores, los cuales, una vez focalizados, forman rayas en una pantalla.

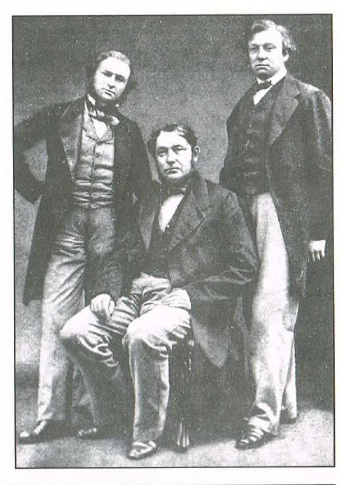


cualquier cantidad de energía; es necesaria una cantidad de energía exactamente igual a la diferencia de energía entre los niveles involucrados.

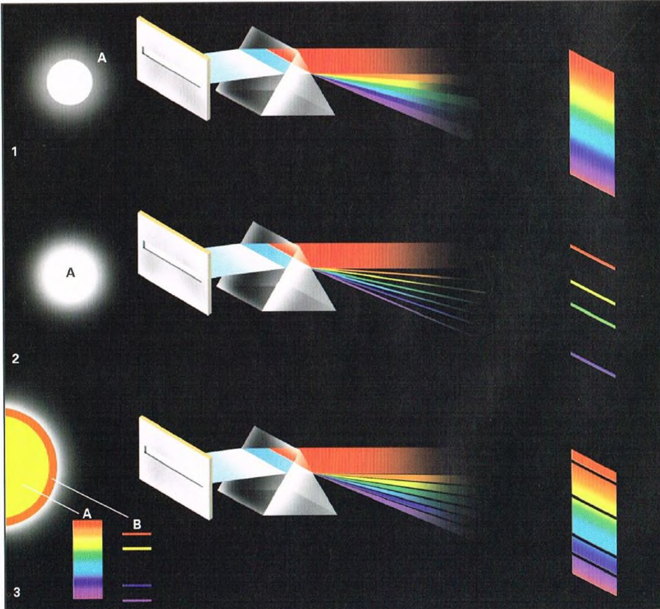
LAS MISTERIOSAS RAYAS

Consideremos ahora el caso del Sol. En su interior tienen lugar diversas reacciones nucleares que producen energía; esta última sale del núcleo hacia la superficie y desde allí se aleja por el espacio y llega, por ejemplo, a la Tierra, donde se la hace pasar a través de un prisma. La luz se emite a todas las longitudes de onda porque se produce a todas las energías y con todos los colores. El espectro resultante, por tanto, debería ser continuo, como el descrito antes.

No obstante, analizando minuciosamente el recorrido de la luz, se advierte que ésta, una vez ha abandonado la superficie de la estrella, debe atravesar su tenue, pero gruesa, atmósfera y luego debe atravesar la atmósfera de la Tierra antes de entrar en los instrumentos de los astrónomos. Sobre todo en la primera travesía (la de la atmósfera solar), la luz es parcialmente absorbida por los átomos de los elementos químicos presentes en aquel lugar debido a los saltos entre los niveles atómicos de los electrones de tales elementos. Luego es reemitida, pero no en la dirección de llegada, sino en una dirección cualquiera del espacio. A la luz que logrará llegar a la Tierra, por



En la fotografía, tomada en 1862, aparecen (de izquierda a derecha) G. Kirchhoff, R. Bunsen y H.E. Roscoe. Los dos primeros, con sus experimentos de laboratorio, fundaron el análisis químico de las sustancias por vía espectroscópica y lograron interpretar el significado de las rayas oscuras de las estrellas ya identificadas por Fraunhofer.



A la izquierda, los tres tipos de espectros: 1) el continuo; 2) el de emisión; y 3) el de absorción. En el primer caso, la luz de la fuente, dispersada por un prisma, se separa continuamente en todos los colores del arco iris sin que en la pantalla aparezcan rayas. En el segundo caso, la fuente caliente, pero no excesivamente densa, emite a las longitudes de onda de los elementos químicos que la constituyen, que se manifiestan en la pantalla como una sucesión de líneas brillantes. Figura por último el espectro de absorción, que es el más frecuente en las fuentes celestes. Por ejemplo, la luz producida dentro de una estrella atraviesa sus capas superficiales y es parcialmente absorbida. Esta absorción, que tiene lugar a determinadas longitudes de onda, produce lagunas en la luz recogida por los observatorios terrestres, la cual muestra por ello rayas negras.



LEJANOS PERO CONOCIDOS

Los objetos que pueblan el cielo, con excepción de los del sistema solar, se encuentran a distancias enormes que posiblemente serán siempre infranqueables. Parece increíble que podamos conocer con exactitud muchas características de unos objetos tan alejados de nuestra vida cotidiana. Sin embargo, la espectroscopia permite determinar las principales y elaborar modelos teóricos muy precisos de su estado y evolución.

tanto, le faltará una parte, que se manifestará en forma de líneas oscuras o ausencia de luz.

Dado que todo elemento químico tiene unas energías características, de la posición de una cierta línea en el espectro se podrá deducir el elemento que la ha generado y por tanto la composición química de la estrella. Un espectro de este tipo, con líneas oscuras, se llama espectro de absorción.

ESPECTROS DE OBJETOS DIVERSOS

El espectro de emisión, en cambio, es el que emite un gas a baja presión y se caracteriza por la presencia de líneas luminosas sobre el fondo del espectro continuo. Las estrellas raramente presentan un espectro con estas características y las pocas que lo poseen se clasifican aparte.

Naturalmente, también se pueden obtener espectros de objetos distintos de las estrellas. Por ejemplo, se puede registrar el espectro de una nube de gas, de una galaxia o de las manchas solares. En principio, cualquier cuerpo que emita radiación electromagnética puede estudiarse por medio de la espectroscopia. Como es obvio, cuanto más luminoso sea el objeto más fácil será estudiarlo. El espectro del Sol es conocido en sus más mínimos detalles, mientras que de los espectros de las estrellas y, con mayor razón, de las galaxias, se ven sólo las líneas principales.

LA CLASIFICACIÓN DE LOS ESPECTROS

Los estudios sobre la clasificación de los espectros estelares comenzaron hacia 1885 por obra del

El prisma objetivo es un aparato que, acoplado a un telescopio, permite obtener imágenes estelares que son ya pequeños espectros.

PREFIJOS Y SUFIJOS

En la clasificación espectral, además de las letras que identifican los tipos (O, B, A, etc.), los astrónomos utilizan otras, escritas delante o detrás del tipo, para precisar mejor las características de la estrella en cuestión. Estas letras (y su significado) son las siguientes:

- **c** → estrellas con líneas del espectro muy delgadas;
- **g** → estrella gigante;
- **d** → estrella enana (*dwarf*);
- **n** → estrella con un espectro nebuloso, de rayas anchas;
- **s** → estrella con rayas estrechas (pero menos que c);
- **e** → estrella con espectro de emisión;
- **ev** → estrella con emisión variable;
- **v** → estrella con espectro variable;
- **pec** → estrella con espectro peculiar.



astrónomo estadounidense Edward Pickering, que trabajaba en el observatorio del Harvard College, en Estados Unidos, y fueron proseguidos por la también estadounidense Annie Cannon. Estos estudios demostraron que la diferencia entre los espectros de los distintos tipos de estrellas eran atribuibles a características muy precisas de los astros, y en primer lugar a su temperatura. Al comienzo se propusieron distintas clasificaciones y también se cometieron errores, con el resultado de que los grupos en que actualmente se catalogan los espectros toman su nombre de algunas letras del alfabeto que no están en orden. Tales grupos se llaman tipos espectrales y las letras que los indican son O, B, A, F, G, K, M. Dentro de cada grupo, se utilizan los números del 0 al 9 para obtener una clasificación más precisa. Por ejemplo, el Sol es una estrella G2. De las estrellas O a las M, la temperatura superficial de los astros va disminuyendo progresivamente.

Para recordar la secuencia de los tipos, los anglosajones han acuñado la famosa frase «Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me!». Como es evidente, su traducción al español no tiene la misma pertinencia.

El catálogo de Harvard, en sus sucesivas versiones, ha llegado a incluir más de 400.000 estrellas.

El sistema estándar hoy universalmente aceptado para la clasificación espectral de las estrellas es el que establecieron en 1941 William W. Morgan y Philip C. Keenan y que lleva el nombre de sus iniciales: sistema MK. Es similar al de Harvard, con los siete tipos divididos ulteriormente en diez clases, pero con el añadido de un número romano del I al V que indica la clase de luminosidad: I indica las supergigantes; II, las gigantes luminosas; III, las gigantes normales; IV, las subgigantes; y V, las estrellas de la secuencia principal. El Sol, por tanto, se clasifica como una estrella G2-V.

LAS BINARIAS ESPECTROSCÓPICAS

A veces, el estudio de los espectros estelares permite también identificar astros que escapan de la observación normal con telescopios. En ocasiones, en efecto, sucede que el espectro de una estrella muestra líneas desdobladas o ensanchadas. Los astrónomos han interpretado que esta observación se debe a dos estrellas que orbitan alrededor de un centro común, una acercándose y la otra alejándose de la Tierra. A causa del efecto doppler, las líneas de la que se aleja se desplazan ligeramente hacia el extremo rojo del espectro, y las de la que se acerca, hacia el extremo azul, determinando el desdoblamiento o (si el desplazamiento es pequeño) el ensanchamiento de la raya.

Se han estudiado cientos de binarias espectroscópicas, que constituyen una de las principales fuentes de información para la determinación de la masa de las estrellas.

Arriba, imagen de larga exposición de la rotación aparente de la bóveda celeste alrededor del polo. Como se ve, las estrellas presentan colores diferentes, que a veces son perceptibles incluso a simple vista.

TIPOS ESPECTRALES «EXTRAÑOS»

Sucesivas revisiones de la clasificación espectral han introducido, junto a los siete tipos clásicos, otros tipos caracterizados por distintas letras. Los principales son los siguientes:

Q → indica los espectros de las novas;

P → indica los espectros de las nebulosas gaseosas;

S → indica espectros caracterizados por la molécula del óxido de circonio (ZrO);

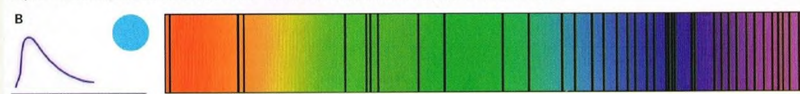
R o **N** → indican los espectros de las llamadas estrellas de carbono, que presentan las bandas del cianógeno (CN).

TIPOS ESPECTRALES

Según las rayas que presentan y su intensidad, los espectros de las estrellas se clasifican en siete categorías llamadas tipos, los cuales, por razones históricas, se nombran mediante algunas letras del alfabeto. He aquí sus características principales.



Este grupo está caracterizado por las rayas de absorción del helio ionizado y de otros elementos como el carbono, el nitrógeno y el oxígeno (doblemente ionizado), así como del silicio (triplemente ionizado). Se trata de estrellas azules, con una temperatura superficial característica de unos 22.000 °C. Estrellas típicas: Zeta *Puppis*, 15 *Monocerotis*.



El espectro presenta rayas del helio neutro muy intensas. No hay líneas correspondientes al helio ionizado. Comienzan a aparecer las líneas del hidrógeno y hay rayas del carbono, del oxígeno y del silicio ionizados. Son estrellas blancoazuladas; temperatura de unos 14.000 °C. Estrellas típicas: Epsilon *Orionis*, Rigel, *Spica*.



Siguen presentes, aunque débilmente, las rayas del helio neutro. Las líneas del hidrógeno alcanzan su máxima intensidad en la clase A0 y van disminuyendo en las sucesivas. Fuertes líneas del magnesio y del silicio ionizados. Líneas del calcio que van aumentando de intensidad. Son estrellas blancas; temperatura de unos 10.000 °C. Estrellas típicas: Sirio, Vega, Altair.



Espectro parecido al de A, pero con líneas del hidrógeno de intensidad menor. Empiezan a cobrar importancia las líneas del calcio ionizado. Empiezan a aparecer las líneas de elementos neutros. Son estrellas blancoamarillentas; temperatura de unos 6.700 °C. Estrellas típicas: *Canopus*, Proción y Alfa *Persei*.



Rayas del hidrógeno muy débiles. Líneas del calcio ionizado muy intensas. Empiezan a aparecer las bandas moleculares del cianógeno (CN) y del ion CH. Se trata de estrellas amarillas; temperatura de unos 5.500 °C. Estrellas típicas: el Sol (que tiene un espectro G2), *Capella*, Alfa *Centauri*.



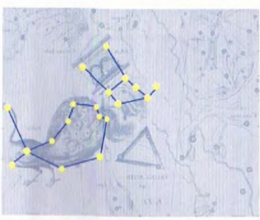
Las líneas del calcio ionizado se van debilitando a la vez que se intensifican las del calcio neutro. Dominan las líneas de los metales neutros. Es el espectro típico de las manchas solares. Se trata de estrellas amarillo-rojizas; temperatura de unos 3.800 °C. Estrellas típicas: Arturo, Pólux, Alfa *Ursae Majoris*.



El espectro presenta bandas moleculares, especialmente del óxido de titanio (TiO). A esta clase pertenecen las estrellas de tipo Mira *Ceti*. Son estrellas rojizas; temperatura de unos 1.800 °C. Estrellas típicas: Betelgeuse, Antares.

ALTAR-PAVO REAL

Las constelaciones del Altar y del Pavo Real son visibles en los cielos meridionales, al sur de las constelaciones de Sagitario y de Escorpión.



Las constelaciones contiguas del Altar y del Pavo Real, pese a haber sido descubiertas en períodos muy distantes en el tiempo, han sido asociadas a leyendas del período clásico.



Pese a figurar entre las menos conocidas, las constelaciones del Altar y del Pavo Real contienen varios objetos interesantes, sobre todo la primera, situada cerca de la Vía Láctea. A diferencia del Pavo Real, el Altar fue introducido ya en la Antigüedad, pues se encuentra en una región observable desde el área mediterránea.

CÓMO LOCALIZAR LAS CONSTELACIONES

Las estrellas del Altar ocupan la región del cielo situada inmediatamente al sur de la cola del Escorpión zodiacal. La alineación de las estrellas Zeta y Gamma de esta constelación indica aproximadamente Alfa de la constelación del Pavo Real, hacia el este.

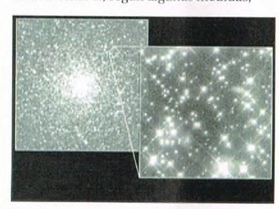
ESTRELLAS PRINCIPALES

Alfa *Pavonis* (magnitud 1,9) se conoce también con el nombre de Peacock, que en inglés significa pavo real; se trata de una estrella de luz azulada situada a unos 230 años luz del Sol.

Kappa, en la misma constelación, es una estrella variable del tipo de las cefeidas cuya luminosidad varía a causa de las pulsaciones periódicas de que es objeto el astro y oscila regularmente entre las magnitudes 3,9 y 4,8.

Una estrella doble de esta constelación es Xi (magnitudes 4,4 y 8,6); la diferencia de luminosidad y la proximidad entre las dos componentes dificulta extraordinariamente la observación de este sistema binario.

Aunque por poco, el astro más luminoso del Altar es Beta (magnitud 2,9), una estrella amarilla anaranjada de gran tamaño. Las estimaciones de su distancia difieren mucho entre sí; según algunas medidas, la estrella distaría sólo un centenar de años luz, mientras que, según otras, se encontraría a más de 1.000 años luz del Sol. Beta supera a Alfa en sólo 0,1 magnitudes; esta última, sin embargo, es más caliente y brilla con una luz de color azul.



NGC 6397 es un cúmulo globular de la constelación del Altar. La vecina constelación del Pavo Real contiene otro, NGC 6752, también observable con unos prismáticos.

DÓNDE BUSCARLA

ALTAR-PAVO REAL

La constelación del Altar, situada al norte de la constelación de la Abeja, junto a la Vía Láctea, abarca una región del cielo comprendida entre 16 horas 30 minutos y 18 horas 5 minutos de ascensión recta, y 46° S y 68° S de declinación, aproximadamente.
La constelación del Pavo Real abarca la región comprendida entre 17 horas 40 minutos y 21 horas 25 minutos de ascensión recta, y 57° S y 75° S de declinación, aproximadamente.

OBJETOS DEL ALTAR Y DEL PAVO REAL

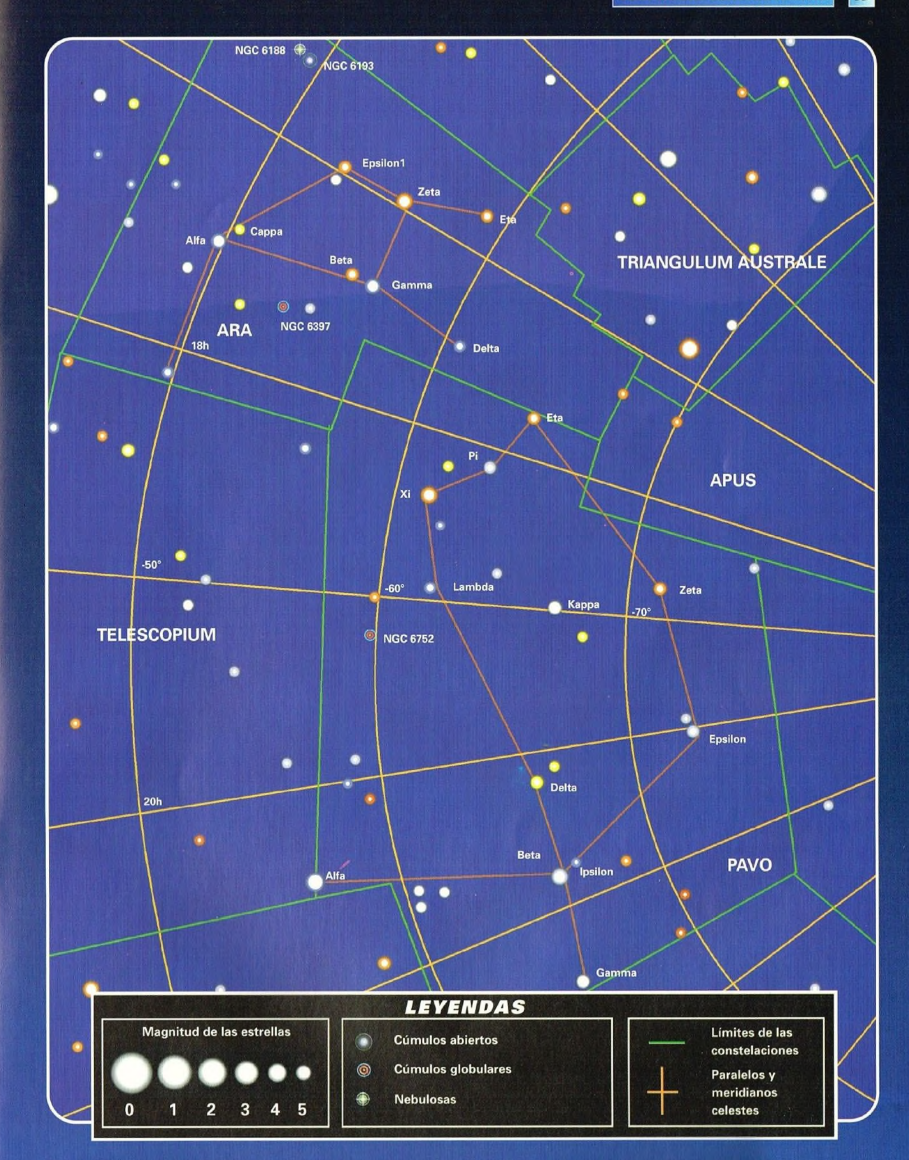
En las dos constelaciones son visibles algunos cúmulos estelares: NGC 6397, en el Altar, es un brillante cúmulo globular de séptima magnitud al alcance de pequeños instrumentos. También en la constelación del Altar se encuentra NGC 6193, un cúmulo abierto cuya estrella más brillante está en el límite de percepción visual; cerca de este objeto se encuentra una nebulosa gaseosa, catalogada como NGC 6188.

En el Pavo Real, se puede observar con prismáticos el cúmulo globular NGC 6752, que abarca una región del cielo de 15', la mitad que el disco lunar.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

ALTAR-PAVO REAL

El Altar y el Pavo Real tienen distinto origen. Mientras que el primero se remonta a la Antigüedad clásica, el segundo no fue introducido hasta el siglo XVI. Según una tradición, el Altar representa el altar donde el Centauro estuvo a punto de sacrificar al Lobo. Según otra leyenda, se trataría del altar donde los dioses establecieron su alianza antes de iniciar la lucha contra los titanes. Según el mito, en una época remota, éstos, bajo la dirección de Saturno, que devoraba a sus hijos para escapar a la profecía que anunciaba el fin de su reino a manos de uno de ellos, gobernaban el mundo. Gracias a Gea, mujer de Saturno y madre de Júpiter, este último escapó a la suerte de sus hermanos; Gea lo escondió poco después de nacer y dio a Saturno unas piedras, que hizo pasar por el hijo recién nacido. Júpiter pudo crecer y capitanear la rebelión de los dioses, que suplantaron a los titanes en el dominio del mundo. Júpiter logró también que Saturno regurgitase a todos sus hijos, que nutrieron las filas de los dioses.
El Pavo Real representa el ave en cuya cola fueron sembrados los cien ojos de Argos, la serpiente que Juno, la celosa mujer de Júpiter, había puesto como guardiana de Io, la ninfa protagonista de una de las aventuras del rey de los dioses. Io había sido transformada en novilla para sustraerla a las iras de Juno.


NGC 6188
NGC 6193
Epsilon1
Zeta
Eta
Cappa
Alfa
Beta
Gamma
TRIANGULUM AUSTRALE
ARA
NGC 6397
18h
Delta
Eta
Pi
Xi
APUS
-50°
-60°
Lambda
Kappa
-70°
Zeta
TELESCOPIUM
NGC 6752
Epsilon
Delta
20h
Beta
Ipsilon
PAVO
Alfa
Gamma
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos abiertos
Cúmulos globulares
Nebulosas
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LAS FORMAS DE LOS CUERPOS CELESTES



Los cometas figuran entre los objetos de forma irregular que se observan en el cielo.

Esferas perfectas, elipsoides, espirales, asimetrías, irregularidades y maravillosas extrañezas: son las formas en que se presentan los cuerpos celestes.



El simple astrónomo aficionado puede darse cuenta de que el cielo nocturno es un medio riquísimo en objetos de las formas más variadas. Con un pequeño instrumento astronómico podremos percatarnos de lo fascinante que es la observación de los objetos celestes, incluso limitándonos a objetos más bien próximos, como los que pertenecen a nuestro sistema solar: el Sol, con el movimiento de las manchas solares en su superficie; la Luna, sembrada de grandes cráteres, el cuerpo celeste que nos es más familiar y que más ha estimulado la fantasía de los hombres desde la Antigüedad.

LA MASA MOLDEA LA FORMA DE LOS CUERPOS

La forma de los objetos celestes depende principalmente de su masa, aunque hay otros factores que entran en juego. En el caso de un cuerpo en rotación, por ejemplo, la forma no es perfectamente esférica, como sería el caso si sólo interviniera la fuerza de la gravedad, sino que presenta un achatamiento tanto más acentuado cuanto mayor es la velocidad de rotación. En general, sin embargo, se puede decir que existe una masa por debajo de la cual la forma de un cuerpo deja de tener simetría esférica, pues su estructura está dominada en mayor medida por fuerzas electromagnéticas que por fuerzas gravitatorias. Esta masa es 10.000 millones de veces menor que la masa del Sol o, con otras palabras, diez mil veces menor que la de la Tierra.

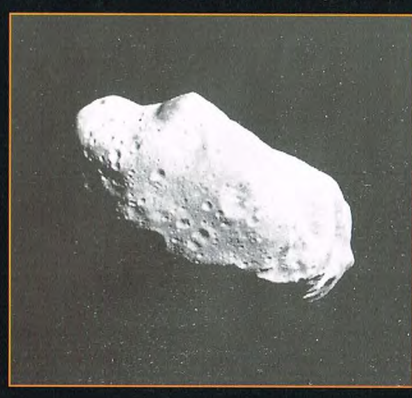
LAS FORMAS DE LOS CUERPOS DEL SISTEMA SOLAR

Entre los satélites que acompañan los planetas del sistema solar, algunos tienen la forma esférica de nuestra Luna y otros presentan formas más irregulares. Los planetas más próximos a nosotros son los objetos que con más facilidad podemos identificar en el cielo nocturno. Incluso el gran Saturno se nos muestra rodeado de espléndidos anillos, que a nosotros nos parecen uniformes y regulares pero que, en realidad, están compuestos de miríadas de pequeños fragmentos rocosos, hielo y polvo. Actualmente, la contaminación luminosa debida a las luces de nuestras ciudades nos impide ver incluso las colas de los cometas más espectaculares, producidas por la radiación solar al paso de aquéllos por las proximidades del Sol.

LA GRAVEDAD Y LA FORMA ESFÉRICA

Además del Sol y sus planetas, el sistema solar está poblado de miríadas de cuerpos de pequeño tamaño y de las más extrañas formas, los mayores de los cuales son los asteroides, que con su aspecto rocoso e irregular parecen piedras lanzadas al espacio por algún gigante. Pensando un poco, nos daremos cuenta de que los cuerpos más masivos del sistema solar (el Sol, los planetas y algunos satélites) tienen una forma casi esférica, mientras que los más pequeños (asteroides, cometas...) presentan formas mucho más irregulares. Esto es debido a que la forma de los cuerpos celestes (y, evidentemente, no sólo los del sistema solar) está determinada por su masa: en los objetos de gran masa la cohesión deriva de la fuerza gravitacional,

A la derecha, una imagen de Ida. Los asteroides son cuerpos rocosos irregulares que, como los planetas, orbitan alrededor del Sol. Algunos se encuentran en la órbita de Júpiter formando dos grupos, los griegos y los troyanos. Uno de ellos precede a Júpiter en su órbita (los griegos) y el otro lo sigue (los troyanos).

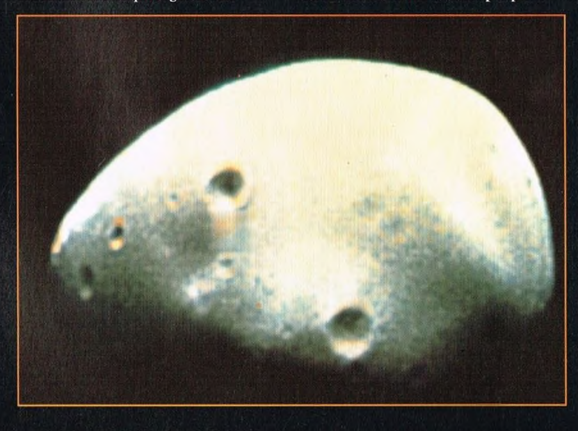


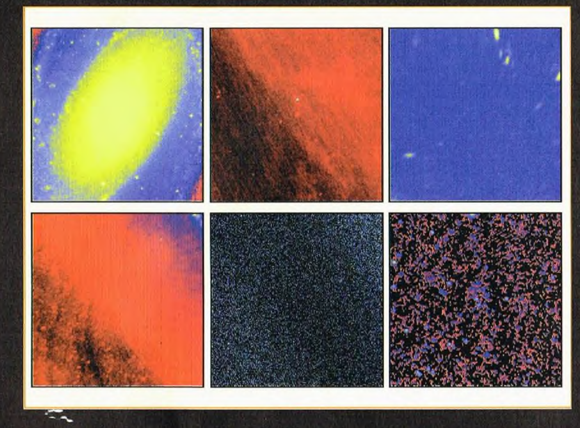
Arriba y abajo, a la derecha, imágenes de Calisto (satélite de Júpiter) y de Deimos (satélite de Marte). Los satélites de los planetas del sistema solar presentan formas muy diferentes. Entre los cuerpos de morfología irregular hay algunos bastante curiosos, como Hiperión, satélite de Saturno, cuya forma recuerda la de una hamburguesa.

mientras que en los de masa modesta se debe sobre todo a fuerzas de naturaleza electromagnética, razón por la cual la conformación del objeto está determinada por la estructura cristalina de las partículas constitutivas. Cuando, en cambio, el cuerpo tiene una masa suficiente para que prevalezca la fuerza gravitacional, la forma resultante es esférica.

EN NUESTRA GALAXIA: LAS NEBULOSAS

Hasta ahora hemos considerado objetos muy próximos a nosotros, extremadamente próximos en términos de distancias astronómicas. Si nos alejamos del jardín de nuestro sistema solar, nos daremos cuenta de que nuestra Galaxia es riquísima en objetos de extraña forma y de contornos poco definidos, como las nebulosas gaseosas, las nebulosas planetarias y los restos de supernovas. Las nubes de gas y polvo resplandecen porque reciben la luz de las estrellas vecinas muy luminosas. La más famosa de las nebulosas es indudablemente la nebulosa de Orión. Las formas más diversas y sugestivas de estas nubes se deben al hecho de que el gas no sólo está sujeto a la fuerza gravitacional, sino también a otros agentes, como por ejemplo las variaciones de presión o los vientos emitidos por las estrellas próximas o incluso interiores de la nebulosa. Las nebulosas planetarias tienen una característica forma de anillo porque se





He aquí cómo aparece una galaxia (M81) observándola a distintas longitudes de onda. La forma de un objeto no depende solamente de la masa y de la rotación. Con la observación a distintas longitudes de onda se pueden advertir sus distintos componentes, como el gas y las estrellas, así como la emisión de partículas en su interior.

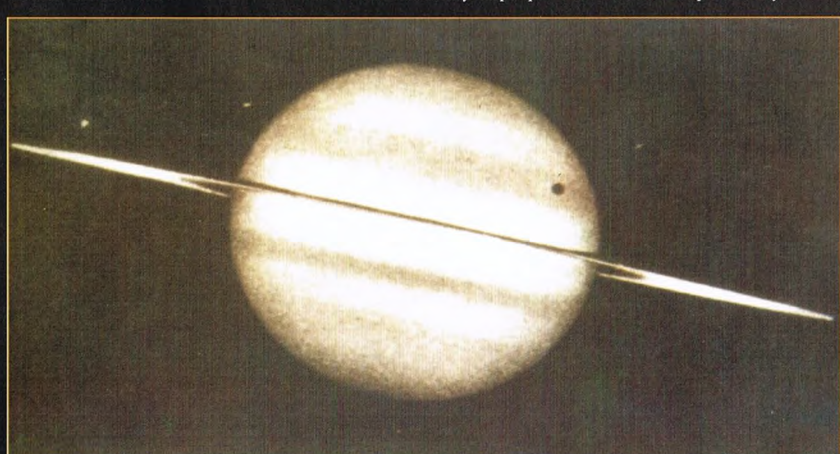
formaron con la expulsión de la envoltura externa de las estrellas de pequeña masa al término de su existencia. Las regiones más internas de estas estrellas pasan a formar una enana blanca, mientras que las externas son expulsadas. También los restos de supernova son debidos a la expulsión de envolturas estelares, en un proceso violento en el que se libera una gran cantidad de energía. En tal caso, el núcleo estelar colapsa en una estrella de neutrones o un agujero negro. Un bellísimo resto de supernova es la nebulosa del Cangrejo.

LOS CÚMULOS GLOBULARES Y SU SIMETRÍA

Todas estas nebulosas impresionan por su morfología irregular y compleja. Pero en nuestra Galaxia también hay cuerpos que presentan una forma muy simétrica: se trata de los cúmulos globulares, que a simple vista aparecen como puntitos luminosos muy parecidos a las estrellas. En realidad, estos objetos están formados por millones de estrellas más viejas que nuestro Sol colocadas de tal forma que constituyen un sistema casi perfectamente esférico. Los cúmulos globulares son objetos cuyas estrellas nacieron al mismo tiempo de la misma nube de materia interestelar y cuya morfología reproduce la forma, a escala reducida, de la nube de gas y polvo que les dio origen y que fue contrayéndose por la acción de su propia atracción gravitacional. Las irregularidades de las nebulosas, las maravillosas colas de los cometas, la forma casi perfectamente esférica de los cúmulos globulares, los globos de los planetas, los asteroides: tal es la variedad de morfologías que presentan los objetos de nuestra Galaxia.

LAS FORMAS DE LOS CUERPOS EXTRAGALÁCTICOS

Salgamos ahora de nuestra Galaxia en busca de otros cuerpos celestes y de otras



Los anillos de Saturno figuran entre los objetos que más han fascinado desde siempre a los observadores del cielo nocturno.



La característica forma de anillo de una nebulosa planetaria es el fruto de la expulsión de las capas exteriores de una estrella de pequeña masa al término de su vida.

formas maravillosas: los objetos que encontraremos en este punto de nuestro viaje son las galaxias. Estos enormes agregados de estrellas son de tres tipos: elípticas, espirales e irregulares. El nombre explica ya sin ambigüedad cuál es la morfología de estos objetos. Su forma depende del colapso gravitacional de la nube protogaláctica. En el caso de las galaxias elípticas, dicha nube se estabiliza en un agregado elipsoidal de estrellas. En el caso de las galaxias espirales, el colapso prosigue hasta constituir una estructura en forma de disco. Éste está constituido por brazos espirales donde se están formando continuamente estrellas. Los brazos espirales aparecen más azules debido a la presencia de estrellas más jóvenes y por tanto más calientes. Las galaxias espirales figuran entre los objetos más extraordinarios que se pueden observar en el cielo, con sus brazos que, extendiéndose progresivamente a partir del núcleo galáctico, dibujan una magnífica espiral. Unos objetos todavía más curiosos desde el punto de vista de la forma son los grupos de galaxias en los que tienen lugar interacciones gravitacionales entre las galaxias componentes. En estos casos, porciones de una galaxia son casi arrancados por la otra galaxia con la que interactúa, formando filamentos que hacen de puente entre ambas galaxias en interacción.

LAS FORMAS CAMBIAN CON LA LONGITUD DE ONDA

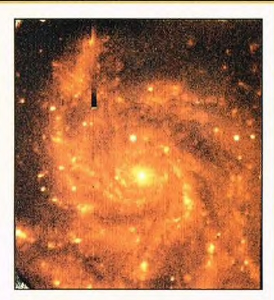
Hasta ahora hemos mirado el universo con nuestros ojos o con telescopios que, en cualquier caso, no hacen otra cosa que potenciar la capacidad del ojo humano. En otras palabras, hemos estado observando en el intervalo visible del espectro electromagnético, la porción de longitudes de onda a las que es sensible nuestro ojo. Por ello, cuando contemplamos el cielo vemos sobre todo estrellas normales y agregados de estrellas, como cúmulos y galaxias. Esto es así porque muchas estrellas emiten sobre todo en el intervalo visible. Si nuestros ojos fueran sensibles a los rayos X no veríamos, por ejemplo, la forma espiral de una galaxia, dibujada por las estrellas, sino sólo un número más o menos elevado de fuentes puntiformes que corresponden a las fuentes X más brillantes. Son sistemas binarios formados por un objeto compacto (una estrella de neutrones o un agujero negro) que absorbe materia de una estrella compañera. En este caso, la estructura espiral pasaría completamente inadvertida. Lo mismo sucedería si observásemos la galaxia a otras longitudes de onda: una imagen radioeléctrica de una galaxia es completamente diferente de una imagen gamma, porque los fenómenos físicos indagados son distintos y las componentes que emiten a ciertas longitudes de onda en vez de otras son distintas. En consecuencia, la forma de los objetos celestes depende fuertemente de las «gafas» con que los observamos. Nuestras «gafas» son los instrumentos astronómicos, los detectores que viajan a bordo de los satélites y que se construyen con técnicas distintas según la longitud de onda típica de la radiación que se desea observar.

El que haya galaxias con formas diferentes induce a pensar en una relación evolutiva entre ellas. En realidad, la cuestión de la relación entre galaxias de distintas formas todavía es un problema abierto de la astrofísica.

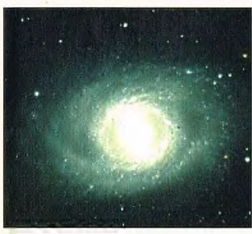


Arriba, imagen de nebulosas, agregados de gas y polvo, que figuran entre los objetos de forma más irregular del universo.









LA SONDA ULYSSES

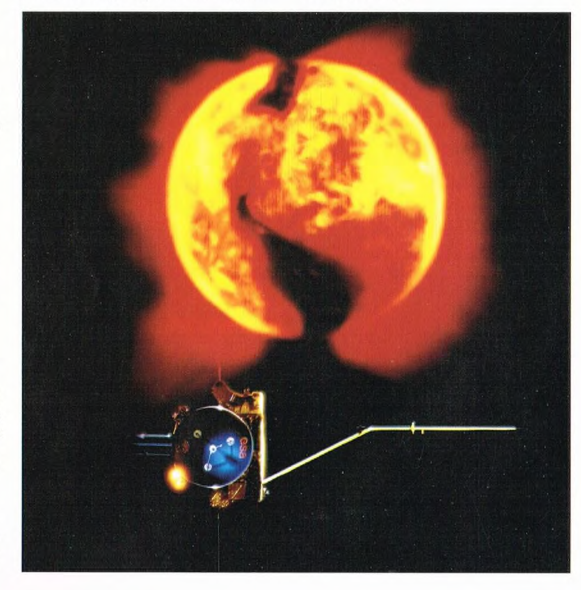
Generalmente las misiones espaciales se bautizan con siglas más o menos misteriosas, con nombres de científicos famosos o de personajes de fantasía. La sonda Ulysses, en cambio, ha tomado el nombre de uno de los grandes protagonistas de la literatura clásica. La elección no ha sido casual sino muy apropiada, dados los objetivos de la misión y el recorrido de la sonda. Así como el héroe homérico vagabundeó por el Mediterráneo visitando lugares desconocidos, la sonda Ulysses visita regiones del sistema solar interior hasta ahora inexploradas.

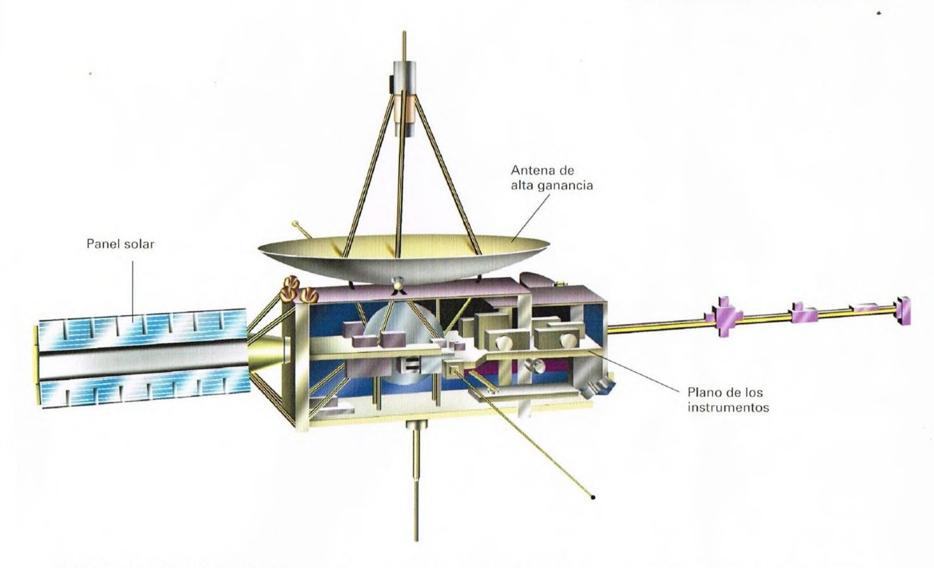
La sonda espacial Ulysses merece un lugar de relieve en la historia de la exploración de nuestro sistema solar. Es la primera sonda que ha explorado el espacio interplanetario a altas latitudes solares, es decir, muy por encima y muy por debajo del plano de la eclíptica (el plano ideal sobre el cual giran los planetas del sistema solar). Ulysses constituye, además, un ejemplo de feliz cooperación internacional en el campo de la exploración espacial. La realización de este vehículo, en efecto, la han hecho posible los esfuerzos conjuntos de la ESA, la agencia espacial europea, y la NASA, la agencia espacial estadounidense. La sonda ha sido construida por industrias europeas por encargo de la ESA y también es europeo el equipo que se ocupa de las operaciones de a bordo. En cambio, el lanzamiento de Ulysses, las operaciones de control por radar de la ruta, la posición y la gestión de los datos recogidos son competencia directa de la NASA. Por último, en lo tocante al uso científico de la sonda, los científicos europeos y estadounidenses que se ocupan del proyecto se reparten la gestión de los experimentos y de los datos recogidos.

LOS OBJETIVOS CIENTÍFICOS

El objetivo principal de la misión consiste en estudiar por primera vez las características del campo magnético del Sol en las regiones más internas de la heliosfera tratando, en especial, de identificar posibles correlaciones con la latitud solar. Se dedica una especial atención, por tanto, al estudio de las regiones polares del Sol, que serán sobrevoladas dos veces en el curso de la misión. Desde este punto de vista, Ulysses suministra y suministrará datos de extremo interés científico, pues las misiones solares pasadas se llevaron a cabo con satélites en órbita terrestre, que se desviaban un máximo de 30° del ecuador solar. Otro de los objetivos de esta misión es el estudio de las características y la composición del viento solar y de los rayos cósmicos. Respecto a estos últimos, se puede decir que son enjambres de partículas que infestan prácticamente todo el sistema solar y cuyo origen y procedencia todavía es objeto de discusión entre los astrofísicos. Los datos recogidos por la sonda Ulysses

Los resultados positivos obtenidos hasta ahora han convencido a la NASA y a la ESA de la conveniencia de prolongar la misión Ulysses. La sonda efectuará un segundo paso alrededor del Sol a comienzos del próximo milenio. Entre septiembre del 2000 y enero del 2001, Ulysses transitará cerca del polo Sur, y entre septiembre y diciembre del 2001 lo hará cerca del polo Norte. Esta visita coincidirá con el período de máxima actividad solar (la anterior se produjo cerca del mínimo).





Arriba, dibujo esquemático que representa la forma articulada de la sonda Ulysses.

permitirán otros estudios que tienen que ver con la composición química del polvo y del gas interestelares. La sonda lleva a bordo, además, algunos detectores de rayos X y gamma. Los primeros sirven para estudiar en detalle la emisión X procedente de la corona solar. Los segundos deberían ayudar a los astrofísicos a determinar el origen y la procedencia de los *bursts* gamma, unos misteriosos fenómenos que se producen inesperadamente inundando el cielo de rayos gamma y luego atenuándose sin dejar rastro. Otros experimentos, por último, tratan de detectar las llamadas ondas gravitacionales, que, según la relatividad general, emiten los cuerpos masivos en rotación (como las estrellas de los sistemas binarios) o los cuerpos que colapsan rápidamente sobre sí mismos (como en la formación de estrellas de neutrones a raíz de explosiones de supernovas).

LA MISIÓN

La sonda Ulysses fue lanzada el 6 de octubre de 1990 por el transbordador espacial estadounidense y situada inicialmente en órbita baja alrededor de la Tierra antes de ser dirigida hacia Júpiter. Esto no es un contrasentido, como cabría inicialmente pensar visto que el objetivo científico principal de la misión es el estudio próximo del Sol. Para alcanzar las regiones polares del Sol, en efecto, es necesario que la sonda salga del plano de la eclíptica y se sitúe en una órbita muy inclinada. Para ello, debería poseer una velocidad muy elevada que ningún lanzador terrestre es capaz de

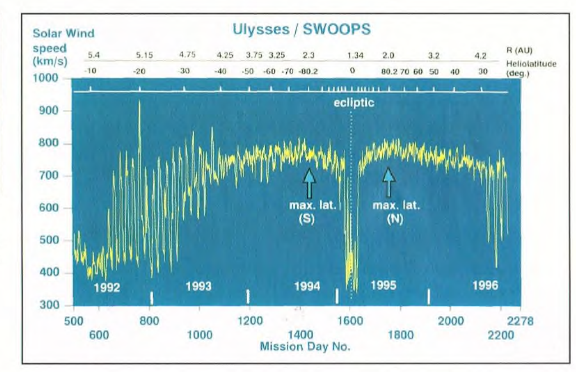
LA SONDA

La masa total de la sonda en el momento del lanzamiento era de 367 kg, de los cuales 55 correspondían a instrumentos científicos y 33,5 al combustible para las maniobras en órbita terrestre. El diseño de la sonda Ulysses, como el de todas las misiones de astronomía espacial, está determinado por las características de la propia misión. La Ulysses se ha construido para que pueda operar en el curso de todo su viaje por el sistema solar, por lo que el suministro energético no puede correr a cargo de paneles fotovoltaicos, como en el caso de los satélites en órbita terrestre. El flujo de luz recibido del Sol sería demasiado pequeño a grandes distancias (800 millones de kilómetros) y demasiado grande en la fase de máxima aproximación. Por ello, la Ulysses está dotada de un generador nuclear, lo cual, en el momento del lanzamiento, provocó las iras de los ecologistas de Florida. De las comunicaciones con las estaciones terrestres, vitales para el control de la ruta y la transmisión de los datos, se encarga una antena parabólica de 1,65 m de diámetro. Los datos se registran a bordo en un soporte magnético durante 16 horas, período en el que se interrumpe la cobertura radio desde la Tierra, y se descargan durante las 8 horas siguientes, junto con los datos en tiempo real, hacia una red de estaciones terrestres, las mismas que se encargan del control de la ruta. Otro de los componentes esenciales del satélite es el sistema de control de la orientación, mediante el cual la sonda se mantiene siempre apuntando a la Tierra. Como el *fly-by* con Júpiter lleva a la sonda a atravesar los cinturones de radiación que rodean el planeta, todos los sistemas radiosensibles de la Ulysses (detectores, unidad de registro, etcétera) van protegidos por pantallas.



Arriba, la sonda Ulysses y sus motores, inmediatamente después de su salida de la bodega del transbordador Discovery de la NASA, que la había puesto en órbita en octubre de 1990.

suministrarle. De ahí, la idea de lanzar la sonda hacia Júpiter para poder acelerarla mediante el efecto gravitacional del planeta, la llamada honda gravitacional. El encuentro próximo con Júpiter (técnicamente, el *fly-by*) tuvo lugar el 8 de febrero de 1992, al cabo de un año y medio de viaje por el espacio interplanetario. A partir de entonces, la sonda inició su largo camino hacia el Sol moviéndose por debajo del plano de la eclíptica y alcanzando una latitud solar mínima de unos –70° el 13 de septiembre de 1994. Según los planes originales de la ESA y la NASA, la sonda habría debido sobrevolar los dos polos durante un período no inferior a los cinco meses (por convención, una latitud solar inferior a –70° define el paso por el polo Sur y una superior a 70° el paso por el polo Norte). A diferencia de lo que suele ocurrir, la realidad se mostró más favorable que las previsiones y la sonda Ulysses sobrevoló los casquetes polares del Sol durante unos ocho meses. El polo Sur fue el primero que visitó, el 26 de junio de 1994, sobrevolándolo durante un período de unos cuatro meses. Desde allí, la sonda prosiguió su viaje hacia el polo Norte, que alcanzó al cabo de unos ocho meses y sobrevoló durante algo más de tres.

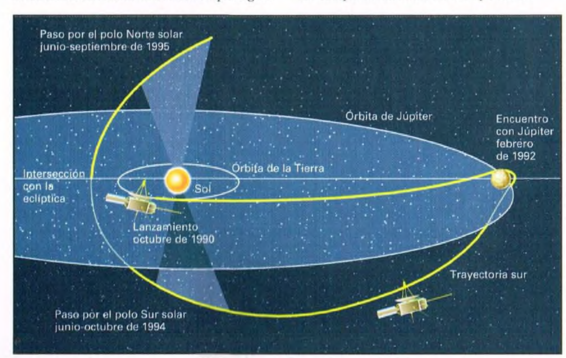


Los datos recogidos por la sonda Ulysses (en el gráfico) han revelado que la velocidad del viento solar varía sensiblemente con las características de las distintas regiones de la heliosfera.

EL FUTURO

El paso por el segundo polo, que tuvo lugar el 29 de septiembre de 1995, marcó el final de la primera parte de la misión. No obstante, dado que la sonda y los instrumentos de a bordo están todavía en perfecto estado, el viaje de la sonda Ulysses está destinado a proseguir. Se está programando una prolongación de la misión que prevé el paso de la sonda por los dos polos del Sol. Desde el punto de vista científico, esto sería muy útil. Como es fácil de imaginar, los fenómenos estudiados por la sonda Ulysses están influidos por el ciclo solar, del que la primera parte de la misión ha estudiado sólo la primera mitad, en coincidencia con el mínimo de actividad solar.

La prosecución de la misión con otros dos pasos polares (entre el 2000 y el 2001) permitiría cubrir todo el ciclo undecenal. En los próximos meses, la sonda Ulysses se dirigirá hacia Júpiter, esta vez pasando por encima del plano de la eclíptica, para realizar un nuevo *fly-by*. De todos modos, el tiempo empleado en este recorrido no será científicamente inútil, pues la Ulysses podrá realizar observaciones coordinadas con la sonda SOHO de la ESA para un mejor estudio de las características de la corona y del viento solares. Mientras tanto, los datos recogidos por la sonda Ulysses están en estudio y prometen revelarnos informaciones muy interesantes sobre la estrella que para nosotros es la más importante del universo.



Después de más de seis años de vida operativa, la sonda Ulysses ha atravesado medio sistema solar. Tras su puesta en órbita en octubre de 1990 fue dirigida hacia Júpiter para aprovechar la aceleración gravitatoria suministrada por el planeta gigante y proseguir su viaje hacia la meta principal: el Sol. Posteriormente a su encuentro con Júpiter (febrero de 1992), la sonda atravesó el plano de la eclíptica y se dirigió hacia el polo Sur de nuestra estrella, al que llegó en junio de 1994. Al cabo de unos meses se produjo el paso por las cercanías del polo Norte (septiembre de 1995), al término del cual la sonda inició el viaje de regreso hacia Júpiter, preludio indispensable para realizar un nuevo viaje hacia el Sol, entre el 2000 y el 2001.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LA TIERRA

ESTRELLAS Y GALAXIAS

LA ARQUEOASTRONOMÍA

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

PERSEO

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

LANZADORES SOVIÉTICOS

EL USO DEL ESPACIO

EL SKYLAB

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

35



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

PETICIÓN DE FASCÍCULOS ATRASADOS

Válido sólo para el territorio español y para no suscriptores.

Si desea recibir algún fascículo atrasado o tapas, rellene en LETRAS MAYÚSCULAS este boletín y envíelo a:
PLANETA-DeAGOSTINI, Apartado de Correos N.º 2.867 - 08080 Barcelona, o llame al Tel. **902 288 288***

DATOS PERSONALES:

APELLIDOS

NOMBRE

CALLE O PLAZA

N.º PISO PUERTA ESC.

CÓDIGO POSTAL POBLACIÓN

PROVINCIA EDAD

TELÉFONO PROFESIÓN

FIRMA (Imprescindible)

• Recibirá contrarreembolso, más gastos de envío todo el material que nos haya solicitado.

SOLICITUD:

EL UNIVERSO
ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

Indique los números de los fascículos atrasados que desea recibir:

N.º de tapas que solicita:

Indique si desea recibir la versión con vídeo o sin vídeo:

Con vídeo ☐ Sin vídeo ☐

• Planeta-DeAgostini mantendrá su servicio de petición de atrasados hasta un plazo máximo de 18 meses a partir de la fecha de venta de cada uno de los números que forman la colección.

FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LA TIERRA

El nacimiento de la Tierra está estrechamente ligado a la formación del sistema solar, que tuvo lugar hace unos 4.500 millones de años. Pero la historia de la Tierra es también, en gran parte, la historia de la vida, porque esta última ha estado determinada por las modificaciones de la corteza terrestre y por los cambios climáticos.



El problema del origen de la Tierra es muy complejo. En un intento por resolverlo, los científicos han formulado al menos unas treinta hipótesis, desde la que propuso el filósofo E. Kant en 1755, que fue asumida en 1796 por el matemático P.S. Laplace, hasta las más recientes.

Muchas de estas hipótesis se han descartado porque se contradecían con los datos experimentales que se habían ido adquiriendo. Las que han permanecido tampoco son definitivas.

En todas las conjeturas formuladas hay algo en común: la asociación del origen de la Tierra con el origen del sistema solar, porque, como han confirmado las últimas exploraciones planetarias, las características comunes a la Tierra y a los restantes planetas del sistema solar son muy significativas.

En consecuencia, el problema del origen de la Tierra debe incluirse necesariamente en el problema del origen del sistema solar y éste, a su vez, en el más amplio de la formación de las estrellas.

LA NEBULOSA PRIMITIVA

En la actualidad, la mayoría de los científicos coinciden en afirmar que el sistema solar es el resultado de complejos fenómenos que se sucedieron en el interior de una enorme nube de gas y polvo, muy rarificada, que ya debía de existir hace unos 5.500 millones de años.

Esta nube era mil veces más extensa que el actual sistema solar y parece ser que tenía una conformación globular.

Nuestro planeta, fotografiado desde arriba, muestra características únicas: grandes océanos y sistemas complejos de nubes que cubren parcialmente su superficie.



Arriba, representación pictórica de la formación del sistema solar a partir de la nube primigenia protoplanetaria.

En un momento determinado, esta nebulosa solar primordial empezó a contraerse debido a la fuerza de la gravedad ejercida por su propia masa, que concentró en el centro buena parte de la materia que constituía la nebulosa primitiva.

La contracción de los gases y el polvo hacia el núcleo tuvo unas consecuencias determinantes. En primer lugar, el material se calentó notablemente por la conversión de la energía gravitatoria en energía térmica. De este modo se originó el proceso de formación de la protoestrella.

Cerca del protosol, la materia del disco estaba constituida por materiales rocosos asociados a cantidades limitadas de sustancias gaseosas. Más allá, la nebulosa era progresivamente más fría y rica en agua, metano y amoniaco congelados.

Los planetas y los satélites del sistema solar serían el resultado de la agregación de los materiales presentes en el disco a una determinada distancia del Sol.

En la parte más próxima al Sol, donde abundaban los materiales rocosos, se formaron los planetas internos, Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, los planetésimos y el núcleo de los satélites de Júpiter (Ío, Ganimedes y Calisto), de Saturno (Titán) y de Urano.

LA FORMACIÓN DE LA TIERRA

Probablemente, la Tierra se originó a partir de un núcleo rocoso que atrajo los bloques de materia que encontraba a lo largo de su órbita.

Cada bloque, que se podría definir como asteroide, viajaba a su propia velocidad, por lo que había muchas posibilidades de colisiones o de pasos lo bastante próximos para hacer que el núcleo de la Tierra en formación atrajese hacia sí los demás bloques y se hiciese cada vez más compacto.

Con el tiempo, la Tierra «limpió» todo el espacio que rodeaba su órbita, excluida la Luna, probablemente formada por un gran asteroide que golpeó de soslayo la Tierra, y finalmente alcanzó su tamaño actual.

QUÉ ES LA ACRECIÓN HOMOGÉNEA

Según la teoría más tradicional, la Tierra primitiva debería estar compuesta por una agregación de diversos materiales mezclados desordenadamente.
Debido al calor producido por la transformación de la energía gravitatoria en térmica y por la desintegración de los materiales radiactivos, la Tierra debió de fundirse por completo. Los materiales más pesados, es decir, el hierro y el níquel, debieron de hundirse hacia el centro de la Tierra, mientras que los más ligeros quedaron flotando en la superficie y formaron la corteza. Esta hipótesis, conocida como hipótesis de la acreción homogénea, postula que el material que constituyó la Tierra era homogéneo y que, mediante una forma de «diferenciación gravitatoria», se pasó de la Tierra primitiva, caótica e indiferenciada, a la actual, diferenciada en su interior en capas de diversas densidades.

Se sabe que la Tierra está formada al menos por tres capas concéntricas –núcleo, manto y corteza–, de diferente composición química y de densidad creciente a medida que disminuye su distancia al centro. Las exploraciones planetarias de los últimos decenios han demostrado que la estructura en capas concéntricas es común en el sistema solar. Para explicar esta estructura se han formulado dos hipótesis.

LA TRANSFORMACIÓN DE LA ATMÓSFERA

Cualquiera que sea el proceso que hizo que la Tierra adquiriera su estructura en capas concéntricas, desde entonces ha permanecido básicamente sin variación. Sólo los mecanismos de la tectónica de placas han modificado continuamente su superficie, mientras que la aparición de formas de vida capaces de fotosíntesis transformó profundamente la atmósfera del planeta.

Probablemente, la atmósfera primitiva era una mezcla de hidrógeno, vapor de agua, amoniaco y metano. La actual, en cambio, está constituida sobre todo por nitrógeno y oxígeno. La transformación de una a otra se debe a los organismos vivos que, hace unos 2.500 millones de años, «inventaron» la fotosíntesis. Este proceso biológico fundamental introdujo en la atmósfera cantidades cada vez mayores de oxígeno, que es un elemento muy reactivo desde el punto de vista químico.

El oxígeno reaccionó con el hidrógeno formando agua, con el amoniaco produciendo nitrógeno y agua, y con el metano para dar dióxido de carbono.

A medida que iban en aumento los organismos vivos con fotosíntesis, disminuía la cantidad de los anteriores componentes y aumentaban las de nitrógeno y oxígeno libres.

Los primeros testimonios de la existencia de oxígeno libre en la atmósfera se remontan



La cobertura nubosa de la Tierra no es uniforme. A diferencia de Venus, por ejemplo, las nubes se abren en grandes jirones, a través de los cuales se puede ver la superficie subyacente.

La atmósfera de la Tierra puede dividirse en capas esféricas concéntricas. A medida que se asciende por la atmósfera, su densidad va disminuyendo.

a poco menos de 2.000 millones de años y consisten en capas de rocas de origen continental superpuestas a las más antiguas. No hay en ellas ningún rastro de oxidación.

LA EDAD DE LA TIERRA

Con el avance de la investigación científica, las estimaciones sobre la edad de la Tierra dan a ésta una antigüedad cada vez mayor.

En la actualidad, la edad comúnmente aceptada es de al menos 4.600 millones de años. Todavía no se ha encontrado en la Tierra ninguna roca que se remonte a la época primitiva de su historia y es bastante improbable que se encuentre en el futuro. La estimación de la edad de la Tierra se hace teniendo en cuenta pruebas derivadas de diversas disciplinas científicas. Los astrónomos han deducido de diferentes indicios que los acontecimientos que condujeron a la formación del sistema solar podrían remontarse a unos 5.000 millones de años.

Las mediciones radiométricas de la edad de los meteoritos más antiguos recogidos en la Tierra, basadas en la desintegración de algunos elementos radiactivos, han dado como resultado edades próximas a los 4.600 millones de años.

Las rocas más antiguas descubiertas en la Tierra están distribuidas por diversos continentes. Se encuentran en el suroeste de Groenlandia, al sureste del Gran Lago del Oso, en Canadá, y en Australia Occidental. Las dataciones de estas rocas efectuadas hasta ahora dan unas edades comprendidas entre 3.800 y 3.900 millones de años. Esto permite concluir que las primeras rocas pertenecientes a una corteza continental y que han permanecido hasta nuestros días, podrían haberse formado hace más de 4.000 millones de años, o sea, en tiempos muy remotos.

Según algunos geólogos, en aquella época ya debían de existir las condiciones para que se produjesen los fenómenos de agregación continental que, según la tectónica de placas, configuran la corteza continental propiamente dicha.

QUÉ ES LA ACRECIÓN HETEROGÉNEA

Más recientemente, se ha propuesto otra hipótesis que tiene en cuenta los conocimientos de la química y de la física del sistema solar adquiridos a través de las exploraciones espaciales. Se llama «hipótesis de la acreción heterogénea» o «de la condensación en equilibrio» y los científicos están trabajando celosamente en ella para comprobar su validez.

Esta hipótesis parte de la idea de que el disco de la nebulosa primitiva tenía una temperatura que crecía desde la periferia hacia el centro, porque en éste había la máxima concentración de materia y, por tanto, la mayor transformación en energía térmica.

Con el paso del tiempo, la temperatura habría disminuido y el material existente, originariamente en estado gaseoso, se habría ido condensando poco a poco en los diversos materiales sólidos. El tipo de material dependía de la temperatura en aquel momento. A la distancia de 150 millones de kilómetros del Sol, donde se formó la Tierra, se habría solidificado primero una aleación de hierro-níquel que se agregó para formar la Tierra.

Luego, la temperatura disminuyó más y se formaron sucesivamente óxidos y sulfuros metálicos, y silicatos, que se depositaron sobre el núcleo, originando el manto y la corteza.

Finalmente, la fuerza gravitatoria de la Tierra habría atraído una atmósfera formada por gases residuales de la nebulosa primordial. Esta hipótesis no excluye que se hubieran producido también fenómenos de fusión parcial de los materiales de las diversas capas de la Tierra, con la consiguiente diferenciación gravitatoria limitada al manto o a la corteza.

EL ORIGEN DE LA VIDA SOBRE LA TIERRA

Uno de los grandes interrogantes que siempre se ha planteado el hombre es el del origen de la vida. Para este tema, aún menos que para el problema del origen de la Tierra, tampoco se dispone de ninguna explicación satisfactoria y definitiva. Sin embargo, se ha elaborado una hipótesis plausible sobre la sucesión de acontecimientos que habrían dado lugar a la vida.

El problema del origen de la vida surgió en la biología como consecuencia de dos grandes teorías y en relación con ellas.



A finales del siglo XVIII, Pierre Simon Laplace propuso uno de los primeros modelos teóricos de la formación del sistema solar.

La primera es la teoría de la evolución, que afirma que las actuales especies de seres vivos provienen de especies cada vez menos numerosas, constituidas por organismos progresivamente más sencillos a medida que se retrocede en el tiempo.

Esto implica que, «al principio», deberían de existir una o muy pocas especies de organismos muy sencillos.

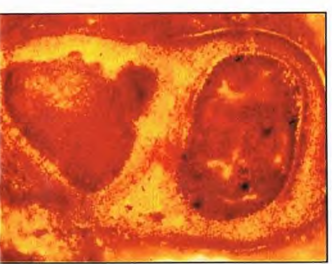
Por otra parte, como actualmente sabemos que la «generación espontánea» no se produce y que cada ser vivo es generado por otro ser vivo, ¿de dónde provenían los primeros seres vivos?

El químico sueco S. Arrhenius (1859-1927) imaginaba que los primeros, y no identificados, seres vivos llegaron a la Tierra de otros mundos. Esta hipótesis se ha vuelto a proponer varias veces, pero no ha sido posible obtener pruebas experimentales a su favor y, además, tiene el grave inconveniente de suponer una especie de «eternidad» de la vida y de trasladar el problema de su origen a otro cuerpo celeste no identificado y fuera del alcance de la experimentación científica.

Por estas razones, los científicos, aun sin descartar la búsqueda de pruebas del origen extraterrestre de la vida, sobre todo después del controvertido hallazgo de trazas de vida fósil en Marte, prefieren trabajar sobre la hipótesis de que la vida es un acontecimiento natural que se ha producido espontáneamente en la Tierra.

EVOLUCIÓN PREBIOLÓGICA

Los científicos están de acuerdo en que, antes de la aparición de la vida en la Tierra,



Este gran esferoide contiene numerosos microorganismos, y las rocas de las que se ha extraído tienen una edad calculada en unos mil millones de años.

existió un período de evolución química, o prebiológica, en el que se habrían formado las moléculas necesarias para generar los seres vivos. El experimento de S. Miller, en 1953, demostró que es posible que la acción de descargas eléctricas sobre los gases de la atmósfera primitiva provocase la formación de moléculas orgánicas sencillas, como azúcares y aminoácidos. Estas moléculas, que se habrían acumulado en las cuencas marinas, podrían haber reaccionado entre sí formando macromoléculas, un fenómeno quizá favorecido por la propiedad de las arcillas de absorber y concentrar moléculas orgánicas. Las macromoléculas se habrían asociado luego en estructuras cada vez más complejas, hasta dar vida a los seres primitivos.

EVOLUCIÓN BIOLÓGICA

Ésta es la línea de investigación en que se mueven los científicos, aunque no debe olvidarse que, entre la transformación de macromoléculas orgánicas y su organización en una estructura celular, incluso la más sencilla, existe un salto gigantesco, del cual se sabe muy poco. Probablemente, los primeros organismos vivos, formados en los mares primitivos y a partir de los cuales se inició la evolución biológica que todavía continúa, eran de un tamaño microscópico y tenían el aspecto de células muy sencillas, como las actuales bacterias.

Estos primeros seres vivos se desarrollaban en un ambiente acuático bastante rico en sustancias, las mismas que habían propiciado su nacimiento y de las que se nutrían.

Más tarde, cuando estas reservas de alimento empezaron a agotarse, la vida pudo continuar su camino porque habían aparecido las algas azules, los primeros organismos vivos con fotosíntesis y capaces de producir nuevas moléculas orgánicas.

LOS FÓSILES MÁS ANTIGUOS

Las investigaciones antes mencionadas se han hecho en los laboratorios de biología y se basan fundamentalmente en el conocimiento de la bioquímica de los seres vivos.

Son investigaciones que van de lo sencillo a lo complejo, desde el inicio de la historia de la Tierra hasta tiempos más recientes. En cambio, ¿es posible buscar fósiles cada vez más antiguos retrocediendo en el tiempo, hasta encontrar cualquier prueba de esta historia imaginada por los biólogos?

Hasta la década de los cincuenta, éste parecía un camino sin salida, porque los fósiles más antiguos conocidos tenían una edad de poco más de 500 millones de años. Actualmente, la situación ha mejorado mucho, porque las investigaciones efectuadas en las últimas décadas han conducido al descubrimiento de fósiles cada vez más antiguos y en el camino de la vida hemos podido remontarnos mucho, hasta más de 3.000 millones de años.

Sin embargo, la documentación sobre los fósiles, a pesar de ser mucho más rica de lo que podía esperarse hace algunas décadas, continúa siendo fragmentaria. Los indicios más antiguos proceden de Isua, una localidad de Groenlandia, donde se han hallado sedimentos de probable origen biológico. Parece que tienen una edad de 3.850 millones de años.

Es una opinión generalizada entre los científicos que las formas de vida primitivas eran agregaciones como las que hoy dan origen a los estromatolitos. Sin embargo, la evolución biológica ha procedido lentamente. En la formación de Gunflint (América del Norte), que data de hace unos 2.000 millones de años, se han encontrado, junto a fósiles de tipo bacteriano, otros organismos que se han interpretado como las primeras formas de seres vivos con fotosíntesis, similares a las actuales algas azules. Por tanto, en aquella época ya existían las dos formas fundamentales de seres vivos: los autótrofos (seres vivos que producen ellos mismos sus sustancias nutrientes) y los heterótrofos (que se nutren de sustancias presentes en otros seres vivos).

Como se deduce de los fósiles contenidos en un yacimiento australiano situado en Bitter Spring, hace unos mil millones de años existían organismos todavía unicelulares, pero dotados de núcleo, que tenían la compleja organización típica de los eucariotas (seres que tienen un núcleo netamente delimitado por una membrana).

De ahí sólo había que pasar a la pluricelularidad, lo cual pudo suceder hace de 700 a 1.000 millones de años.

Este fósil tiene el nombre científico de graptolito dendroide. Se distinguen las huellas de los sedimentos que recubrieron los organismos.



LA ARQUEOASTRONOMÍA

Los grandes monumentos del mundo antiguo guardaban celosamente los conocimientos astronómicos de sus constructores: desde el secreto de las pirámides egipcias hasta los enigmas de Stonehenge.

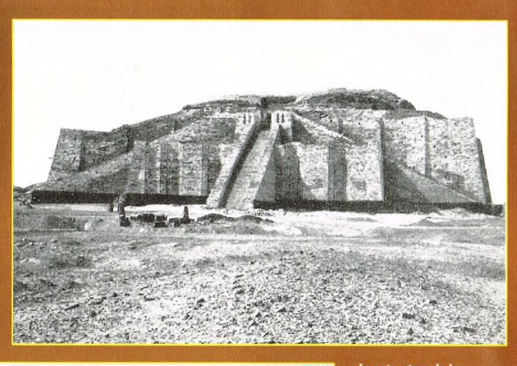


La arqueoastronomía es la ciencia que trata de la astronomía de los pueblos antiguos y de su forma de expresión, concretamente en los monumentos que nos han dejado.

En efecto, muchos complejos monumentales atestiguan el intento de crear obras arquitectónicas ligadas a los acontecimientos astronómicos.

En las civilizaciones mesopotámicas, algunos edificios, como por ejemplo los zigurats, hacían las funciones de templo y de observatorio astronómico. Estaban compuestos de diversos pisos superpuestos, generalmente siete, cuya planta era cada vez más reducida, y formaban una estructura en terrazas. El término zigurat significa «altura» o «fortaleza». Además, estos edificios estaban alineados según los puntos cardinales.

En otras civilizaciones, los lazos entre una determinada estructura arquitectónica y la función



La estructura de los zigurats de los sumerios se desarrolló a partir de los templos de planta rectangular, con muros macizos que tenían la misión de proteger el lugar sagrado de las inundaciones del río y permitían, idealmente, que el dios residiera sobre una especie de montaña.



Los antiguos egipcios desarrollaron amplios conocimientos astronómicos que aplicaban, entre otras cosas, a la construcción de las grandes pirámides y en los templos del Sol.

astronómica de observación de uno o más cuerpos celestes, o de definición del calendario, se expresaban mediante las alineaciones especiales con que estaban construidos los monumentos.

Por ejemplo, en los templos del Sol del Antiguo Egipto, los portales y los corredores estaban dispuestos de manera que, en una hora y un día determinados del año (por ejemplo, los solsticios), los rayos solares atravesaran sin interrupción todo el corredor hasta iluminar el santuario del templo.

EGIPTO Y LAS PIRÁMIDES

Los antiguos egipcios habían adquirido profundos conocimientos astronómicos ligados a finalidades prácticas. Estas conquistas fueron llevadas a un notable grado de especialización. Ejemplo de ello son las operaciones que debieron efectuar para preparar la construcción de las grandes pirámides.

Los estudiosos se han dedicado especialmente a la pirámide de Keops, en Gizeh, la mayor de las construidas en Egipto.

Las caras del monumento están orientadas según los puntos cardinales. La identificación del norte debió de ser una operación muy difícil. Para hacerlo, se utilizó un instrumento llamado merkhet, constituido por un nivel en cuyo extremo se fijaba un hilo de plomada. Una vez identificados los puntos en que aparecía y se ponía una estrella fija, el merkhet los registraba en el horizonte. A la estrella fija seleccionada los egipcios la denominaban Muslo

Stonehenge (abajo) es una de las zonas arqueoastronómicas de mayor interés. La disposición de sus megalitos puede ser interpretada en clave astronómica. Se piensa que el lugar hacía las veces de observatorio para la previsión de los eclipses.

LAS PIEDRAS Y EL CIELO

Muchas culturas antiguas construyeron imponentes estructuras megalíticas con un fin primordialmente ritual. La orientación de estos complejos monumentales se basaba casi siempre en objetos o acontecimientos astronómicos de particular importancia, como, por ejemplo, los planetas y las estrellas más brillantes, o la dirección de las líneas de los solsticios y de los equinoccios.



de Buey y seguramente era una de las estrellas de la Osa Mayor. Los dos puntos así identificados permitían determinar un ángulo cuya bisectriz indicaba el polo Norte.

Parece ser que todas las pirámides del Imperio antiguo (2705-2225 a.C.) se construyeron con su correspondiente norte, con el de una pirámide construida anteriormente e incluso con el de otro lugar sagrado. De esta manera, los arquitectos podían comprobar que la alineación de los edificios en construcción era la correcta. Los cuatro ángulos del lugar sagrado que debía erigirse eran establecidos bajo la supervisión del rey, que se asimilaba al dios geómetra Sek-Aha-Thot.

Excepcional por la precisión de su orientación es la gran pirámide de Keops, que tiene una desviación de sólo dos segundos de arco respecto al norte real. Incluso hoy todavía es imposible saber los motivos de esta elección constructiva.

LOS MONUMENTOS DE GRAN BRETAÑA

En Gran Bretaña se erigieron monumentos prehistóricos compuestos por varias rocas alineadas, llamadas menhires. Estas piedras delimitaban verdaderos recintos sagrados, los crómlechs, de una forma particular: circular, elíptica, rectangular, etc.

El más famoso de estos monumentos constituidos por varios menhires alineados es, sin duda, el crómlech de Stonehenge, en Wiltshire, al norte de Salisbury.

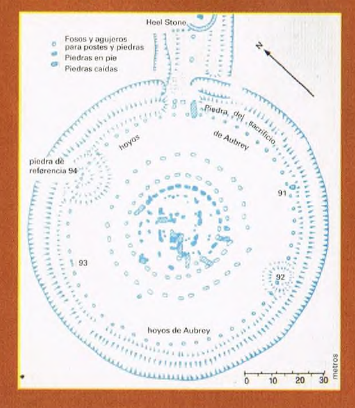
Estas estructuras se edificaron basándose en profundos conocimientos astronómicos. Un ejemplo interesante de estos conocimientos lo ofrece, entre otros, el gran túmulo de Knowth, en el valle del Boyne (Irlanda), donde el sol del alba, en el solsticio de invierno, ilumina el corredor y la cámara central a través de una ranura practicada en el techo.

EL ENIGMA DE STONEHENGE

Stonehenge es un extraordinario monumento megalítico que ha conocido tres fases de construcción entre el tercer milenio a.C. y los primeros siglos del segundo milenio a.C.

En la primera etapa se crearon un terraplén y una fosa circular en cuyo interior había 56 hoyos dispuestos en anillo.

En la segunda fase se erigieron dos crómlechs concéntricos; en la tercera fase, un círculo de treinta menhires de cuatro metros de altura coronados por arquitrabes que unían un monolito con otro y que no tenían la función de sostener ningún techo. En el interior del círculo había cinco trilitos, es decir, cinco grupos de tres piedras constituidos por dos

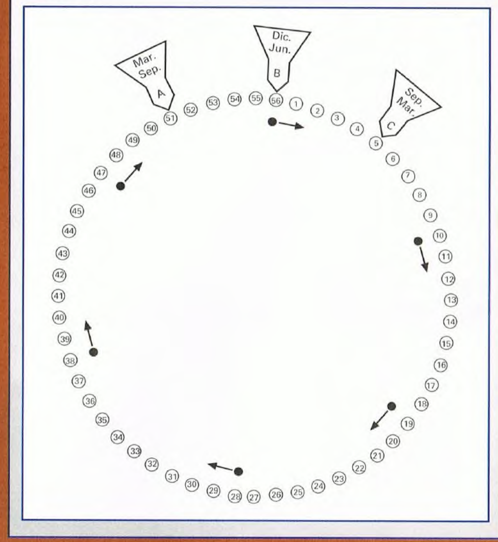


LA PREVISIÓN DE LOS ECLIPSES EN STONEHENGE

Según la hipótesis de Hoyle, los 56 hoyos dispuestos en anillo cerca de la fosa exterior de Stonehenge tenían la función de calendario de los eclipses. Un poste insertado en una de estas cavidades indicaba la posición del Sol en la eclíptica (órbita aparente del Sol alrededor de la Tierra) y se desplazaba durante el año, en sentido antihorario, dos cavidades cada trece días.

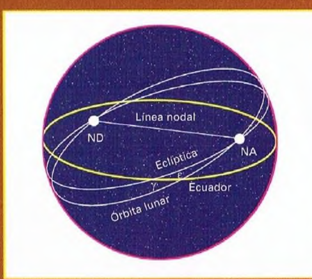
Otro poste se empleaba para indicar la posición de la Luna y se fijaba en correspondencia con la luna llena. De esta manera se determinaba automáticamente la posición del Sol, opuesta a la de la Luna. En el transcurso del tiempo, el poste indicador de la Luna se trasladaba a los diversos hoyos a razón de dos cavidades por día en sentido antihorario, de modo que completara una vuelta en un mes lunar de 28 días.

Además de las posiciones del Sol y de la Luna, otros dos indicadores señalaban la posición de los nodos (intersecciones de la órbita lunar con la eclíptica). Por tanto, se producía un eclipse cuando los postes indicadores del Sol y de la Luna ocupaban la misma posición de uno de los nodos.

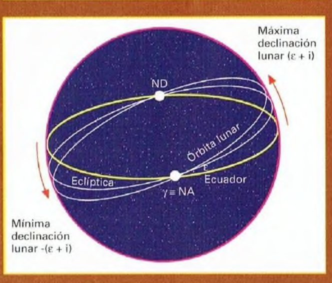


A la izquierda, mapa del complejo de Stonehenge con los hoyos de poste, entre ellos los de Aubrey, que en el dibujo de arriba se muestran con detalle. Los tres marcadores A, B y C indican las direcciones en las que se podrían producir eclipses en los equinoccios y los solsticios.

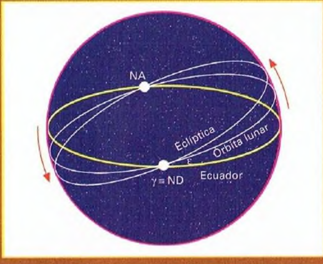
El plano de la órbita lunar corta el de la órbita terrestre –es decir, la eclíptica– a lo largo de una línea llamada línea de los nodos. Los dos planos están inclinados entre sí unos 5 grados, el ángulo ε de la figura. NA indica el nodo ascendente y ND el descendente.

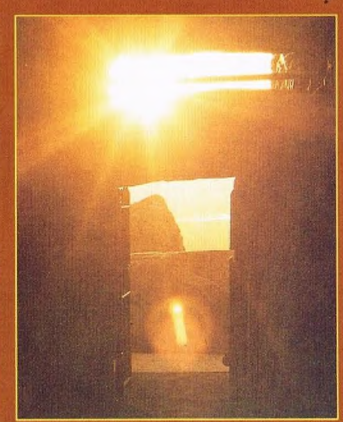


La Luna, al recorrer su órbita, puede encontrarse en el nodo ascendente cuando éste coincide con el punto Aries (γ, que indica el principio de la primavera). En este caso, la Luna sale por los puntos del horizonte que están más desplazados hacia el norte y hacia el sur.



Cuando el nodo descendente coincide con el punto Aries, la órbita lunar queda comprendida dentro de la franja que forman la eclíptica y el ecuador celeste. En este caso, el punto del horizonte en que surge nuestro satélite está a la mínima distancia del punto cardinal este.





Arriba, salida del Sol en el solsticio de invierno, vista desde el interior de la tumba de Newgrange.

columnas y una piedra horizontal colocada encima de las otras dos.

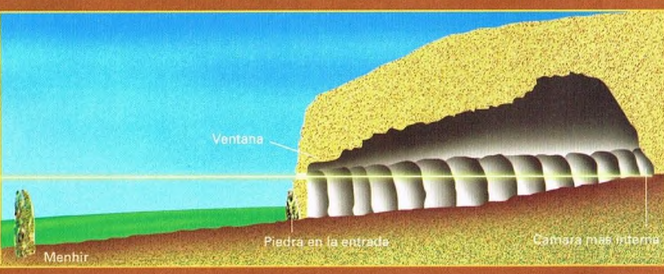
El centro de Stonehenge está ocupado por un bloque rectangular, llamado piedra-altar.

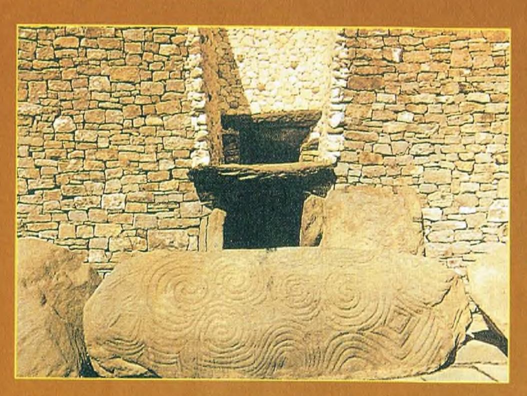
El acceso al monumento se efectúa por una avenida que da al nordeste, en el centro de la cual se encuentra la llamada Heel Stone, una piedra que tenía una función particular: Stonehenge está orientado de manera que el Sol surge por encima de la Heel Stone en el solsticio de verano. Este fenómeno ocurría cuando fue construido el monumento, pero hoy se produce con algunos minutos de diferencia.

Teniendo en cuenta estas observaciones, el astrónomo Lockheyr, en 1901, creyó poder fijar la última fecha de erección del crómlech hacia el año 1850 a.C. Esta datación ha sido corroborada recientemente mediante el método del carbono 14.

Seguramente, Stonehenge era un lugar sagrado, porque se levanta en el interior de una necrópolis de tumbas en forma de túmulo. En las investigaciones

A la derecha, sección de la tumba de Newgrange. La última cámara del complejo mortuorio es iluminada por los rayos solares en el alba del solsticio de invierno.





Arriba, entrada de Newgrange. Al salir el Sol en el solsticio de invierno, un rayo de luz que pasa a través de la ventana superior ilumina las cámaras mortuorias.

más recientes se tiende a dar mayor crédito a la interpretación astronómica, que considera este monumento como un observatorio para prever los eclipses y establecer el calendario, estudiando el movimiento de la Luna.

Con el paso del tiempo se han sucedido diferentes interpretaciones de carácter astronómico a partir de la de John Smith, de 1771, según la cual, la disposición de los trilitos representaría la Luna y el monumento sería una especie de templo lunar.

En el siglo XIX se apuntó la hipótesis de que, para comprender el significado y la función de Stonehenge, había que relacionar este monumento con los túmulos que lo circundan y considerar todo el complejo monumental como una especie de gigantesco y primitivo planetario.

En 1977, el astrónomo y matemático Fred Hoyle reconoció el crómlech como un instrumento para predecir los eclipses, acontecimientos que las gentes de Stonehenge debían de considerar muy significativos, puesto que su religión se basaba en el Sol y la Luna. Esta interpretación es la que se suele aceptar en la actualidad.

CALLANISH

Callanish, en la isla de Lewis (islas Hébridas), es otro ejemplo de círculo de piedras de los muchos que ofrece el territorio de Gran Bretaña. Está constituido por una serie de piedras dispuestas en círculo, en el centro de las cuales hay un gran menhir. Del círculo de piedras hacia el exterior parten cuatro hileras de piedras orientadas según los cuatro puntos cardinales.

A principios del siglo XX, se propuso que Callanish podría ser un observatorio astronómico. La hilera de piedras meridional, alineada con la gran piedra central, está orientada hacia el norte. Varias piedras alineadas también servían de referencia para el estudio del Sol y de la Luna. Probablemente, los estudios tenían motivaciones religiosas.

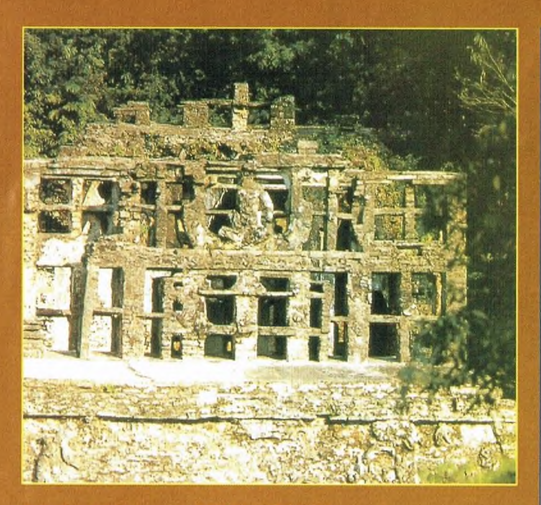
LOS CELTAS

Los celtas de las islas también fueron constructores de santuarios de planta circular, que tienen en Stonehenge uno de los precedentes más ilustres. Parece ser que estos monumentos también tenían una finalidad astronómica. Los celtas utilizaban un calendario lunar que, sin embargo, había sido adaptado al ritmo del Sol. Era el fruto de observaciones astronómicas y del conocimiento del movimiento de los astros.

Gracias al empleo de uno de estos calendarios, los estudiosos han logrado establecer relaciones entre las construcciones circulares.

A la derecha, el círculo de menhires de Calanish, en la isla de Lewis (islas Hébridas). La orientación de esta estructura megalítica se inspiró en las estrellas: aquí se veían surgir Capella y las Pléyades 2.000 años antes de Cristo.





Arriba, templo del Sol en Palenque (México). La orientación de los edificios sagrados es fruto de los conocimientos astronómicos de los mayas.

Abajo, la pirámide del Sol en Teotihuacán (México). Según el mito azteca, el quinto Sol, es decir, el actual, habría nacido en esta pirámide.

AMÉRICA LATINA

Las poblaciones precolombinas tenían conocimientos astronómicos documentados por los diversos tipos de calendarios que utilizaban.

Los mayas poseían tres calendarios diferentes: uno convencional, otro establecido en función del año solar y un tercero venusiano, que asociaba ocho años solares con cinco revoluciones de Venus.

Los aztecas aplicaban un criterio análogo: un año solar, un año venusiano y un año ritual.

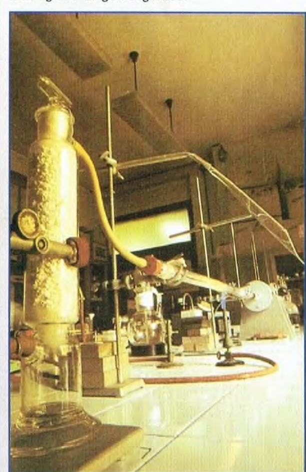
El calendario inca se basaba en el año solar, pero las autoridades intervenían para resolver las dificultades que planteaba la discrepancia entre los períodos solar y lunar. Por eso, el emperador Pachacuti mandó construir, al este de la capital, doce torres que señalaban el punto preciso en que surgía el Sol al principio de cada mes.

Estos conocimientos astronómicos influían en las acciones que debían emprenderse y en otras decisiones. Los pueblos antiguos creían que todos los fenómenos celestes ejercían un gran influjo sobre los hombres y sus actos.



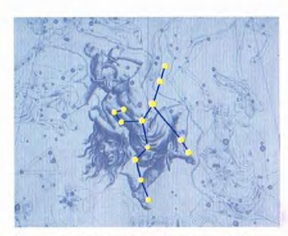
EL MÉTODO DEL CARBONO 14

En arqueología existen diversos métodos para averiguar la edad de los objetos hallados. Una de las técnicas más importantes es la que permite determinar la edad de los restos orgánicos (vegetales y animales) teniendo en cuenta su contenido de carbono 14. Este método se basa en el hecho de que el carbono que compone el dióxido de carbono de la atmósfera terrestre está constituido en su mayor parte por C-12 (estable) y una pequeña parte de C-14 (radiactivo). En el transcurso de su vida, las plantas y los animales asimilan los dos tipos de carbono en las mismas proporciones en que se encuentran en la atmósfera. Cuando estos seres mueren, la cantidad de carbono 12 que se encuentra en sus tejidos permanece constante, mientras que la de carbono 14 se va desintegrando y transformando en otros elementos: aproximadamente cada 5.730 años, la cantidad de C-14 se reduce a la mitad. Así, midiendo el carbono 14 que queda en los tejidos, se puede averiguar la edad del hallazgo de origen orgánico.



Las mediciones con el método del C-14 permiten una datación aproximada de los hallazgos fósiles.

PERSEO



El mítico salvador de Andrómeda, protagonista de muchas aventuras de los mitos griegos, fue llevado al cielo cerca de las constelaciones ligadas a su historia.

Perseo es el mítico héroe griego que salvó a Andrómeda de las fauces del monstruo marino.



Perseo es una constelación muy conocida por el enjambre de meteoros más abundante del año, conocido también como «Lágrimas de San Lorenzo» y como Perseidas, porque parecen provenir de un punto de esta constelación.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

Prolongando la alineación formada por las estrellas Alfa, Beta y Gamma *Andromedae*, se llega a la estrella más luminosa de Perseo: Alfa.

ESTRELLAS PRINCIPALES

Alfa, o Algenib (magnitud 1,8), es una estrella gigante que dista unos 600 años luz de nosotros. El nombre de esta estrella constituye una curiosidad, porque Algenib también es el nombre de una estrella de Pegaso. Alfa *Persei* se conoce igualmente como Mirfak.

Beta es conocida como Algol, el demonio. Se trata de la primera variable de eclipse que se descubrió: su magnitud pasa de 2,1 a 3,4 en menos de tres días por efecto de los mutuos eclipses entre las dos estrellas que la componen. El descubrimiento de la variabilidad de esta estrella se produjo en el siglo XVII. El nombre se debe al hecho de que, antiguamente, este astro identificaba la cabeza de la Górgona que mató Perseo.



Arriba, el doble cúmulo H y Ji Persei, que requiere pocas ampliaciones para poder ser apreciado en toda su belleza.

OTROS OBJETOS DE PERSEO

Uno de los grandes atractivos de Perseo es su doble cúmulo, constituido por H y Ji *Persei*, dos agrupaciones estelares próximas entre sí. Observadas con unos prismáticos, el mejor instrumento para este tipo de objetos, muestran un gran número de estrellas reunidas en dos grupos cercanos. Se trata de astros jóvenes de color azul, situados a unos 7.400 años luz de nosotros. En condiciones favorables es posible distinguirlos a simple vista como dos manchas luminosas. Los dos cúmulos contienen un total aproximado de 700 estrellas.

M34 es un cúmulo abierto, mucho menos rico que los dos anteriores.

M76 es una nebulosa planetaria muy débil, de magnitud 12,5.

Cerca de Xi se encuentra la gran «Nebulosa California», NGC 1499, así llamada por su forma: se trata de una gran región de hidrógeno ionizado, espectacular en las fotografías de larga exposición.

LAS PERSEIDAS

Todo el mundo conoce el fenómeno de las «Lágrimas de San Lorenzo», una lluvia meteórica que se produce cada año precisamente en torno al día del santo del que reciben el nombre. En realidad, su máxima actividad se produce hacia el 12 y el 13 de agosto. Estos meteoros se llaman Perseidas porque su radiante, es decir, el punto del que parecen provenir, está situado en la constelación de Perseo, no lejos de la estrella Gamma. El motivo del comportamiento regular de las Perseidas está en su origen: desde el 7 de agosto hasta la mitad de este mes, la Tierra atraviesa una franja de polvo que dejó el cometa periódico Swift-Tuttle, nombre de sus descubridores, y atrae una parte del material cometario. Al entrar en la atmósfera, las partículas se sobrecalientan y ionizan el aire que atraviesan, creando unos trazos luminiscentes visibles desde el suelo. Las Perseidas forman uno de los enjambres más abundantes del año y, seguramente, el más famoso.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

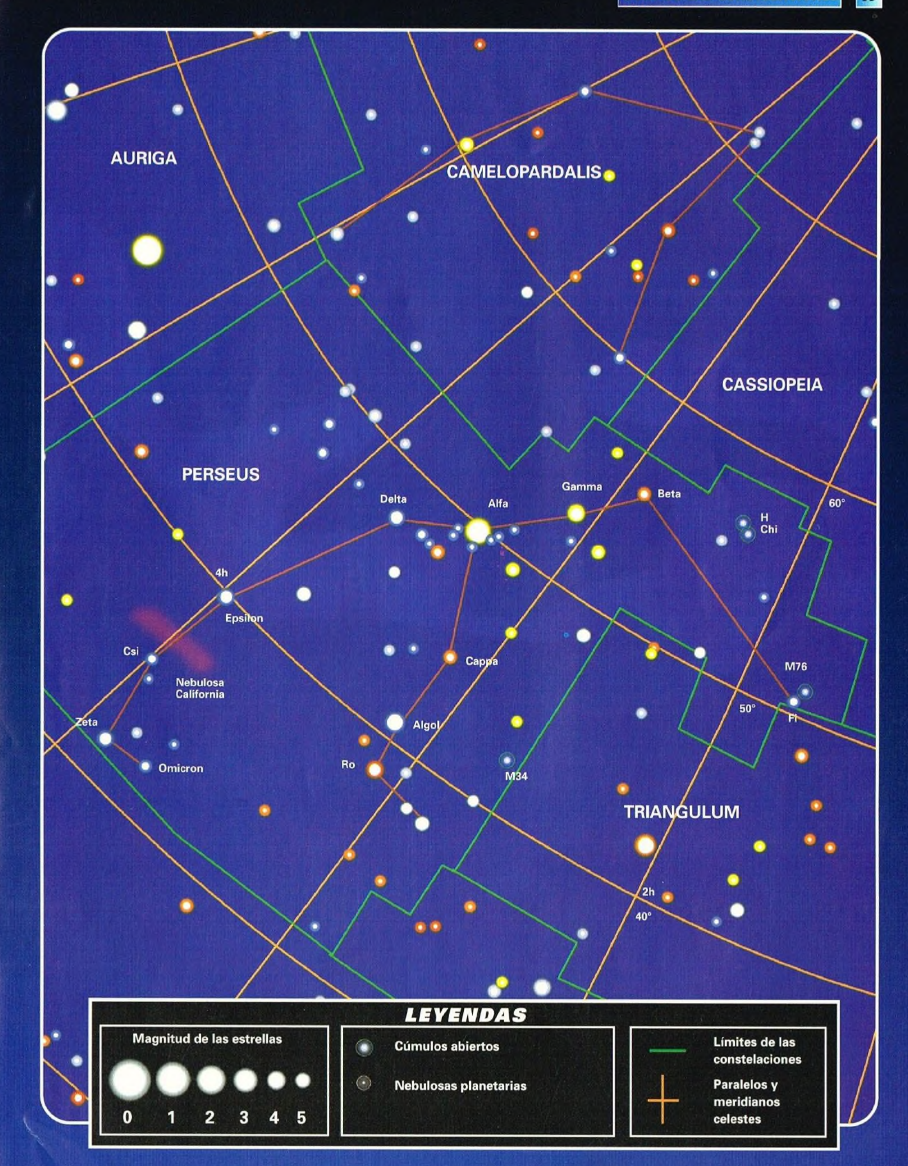
PERSEO

De las empresas llevadas a cabo por Perseo, la más apasionante es la muerte de Medusa, la Górgona con la cabeza provista de una cabellera de serpientes, cuya mirada, al igual que la de sus hermanas, petrificaba a quien la mirase. Las Górgonas vivían en el monte Atlas y, desde él, vigilaban a las Greas, que tenían un solo ojo y estaban obligadas a pasar por allí de vez en cuando. Perseo se preparó para su empresa con un «equipo» especial: podía hacerse invisible gracias a un yelmo que le dio Plutón, se protegía con un escudo de bronce batido por Minerva e iba armado con una espada de diamante construida por Vulcano. Calzaba sus pies con unas sandalias aladas, donación de Mercurio. Así equipado, se desembarazó fácilmente de las Greas atravesando su único ojo y, por la noche, al ver en su brillante escudo la imagen reflejada de Medusa, que dormía, mató a la Górgona cortándole la cabeza. Del cuerpo decapitado de Medusa salió Pegaso, el caballo alado con que Perseo efectuó el salvamento de Andrómeda.

DÓNDE BUSCARLA

PERSEO

Perseo ocupa una región del cielo comprendida entre 1 hora 25 minutos y 4 horas 45 minutos de ascensión recta, y entre 31 y 59° de declinación. Limita con Casiopea, el Cochero, Andrómeda, el Triángulo y Aries. En las latitudes mediterráneas es parcialmente circumpolar: mientras que una parte siempre es visible, el resto de Perseo pasa cierto período de tiempo bajo el horizonte.


AURIGA
CAMELOPARDALIS
CASSIOPEIA
PERSEUS
Gamma
Beta
Delta
Alfa
60°
H
Chi
4h
Epsilon
Csi
Nebulosa California
Cappa
M76
Zeta
Algol
50°
Fi
Omicron
Ro
M34
TRIANGULUM
2h
40°
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos abiertos
Nebulosas planetarias
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LANZADORES SOVIÉTICOS

Aunque fueron los primeros en construir cohetes que podían llevar satélites y hombres al espacio, los soviéticos no lograron desembarcar cosmonautas en la Luna debido a notables retrasos en la puesta a punto de lanzadores potentes.



Respecto a la clasificación estadounidense de los lanzadores, a los cuales se daba un nombre preciso y una clara sigla, luego divulgados, los lanzadores soviéticos nunca se han conocido por una clasificación similar, porque, durante la «guerra fría», se mantenían en riguroso secreto y muy pocas de sus características pasaban a través del «telón de acero».

Por este motivo, los cohetes soviéticos se clasificaban siguiendo un criterio propuesto en 1968 por Charles Sheldon II en el Congreso de Estados Unidos, criterio que fue adoptado en todos los países occidentales.

SEIS CLASES

De acuerdo con esta clasificación, los lanzadores soviéticos utilizados pertenecen a seis clases: A, B, C, D, F y G. Cada lanzador tiene unas características muy diferentes de los demás, sobre todo de potencia y, por tanto, de capacidad de transporte. También hay que recordar que, en sus publicaciones, los soviéticos solían denominar los lanzadores con el nombre de la carga útil que transportaban. Por tanto, es posible establecer equivalencias entre los nombres utilizados por los soviéticos y los utilizados en el mundo occidental, con el resultado siguiente: cohete A = Sputnik, A-1 = Luná, A-1 = Vostok, A-2 = Voshod, A-2 = Soyuz, A-2e = Luná-Venera-Mars, B-1 = Cosmos, C-1 = Cosmos, F-1m = Cosmos, D-1 = Proton, D-1e = Zond y D-1h = Salyut.

LOS LANZADORES A

Seguramente, los lanzadores más antiguos son los que pertenecen a la clase A; en conjunto, constituyen un grupo de seis cohetes, construidos bajo la dirección de Serguéi Pavlovich Korolev, principal constructor y jefe de proyectos de la Oficina de Construcciones Experimentales.

El lanzador A, llamado también Zemiorka, entró en servicio en 1957, cuando fue elegido para lanzar al espacio el Sputnik-1, el primer satélite artificial.

Estaba formado por cuatro propulsores RD-107, que constituían la primera etapa.

Abajo y en la página siguiente, algunos de los más importantes lanzadores construidos por la antigua Unión Soviética entre 1957 y 1971.



A-1 SPUTNIK
versión de 1957



C-1 COSMOS
versión de 1964



A-1 VOSTOK
versión de 1961



A-2 VOSHOD
versión de 1964

Estos propulsores estaban dispuestos alrededor de la segunda etapa, dotada del motor RD-108. En el momento de la partida del cohete, los cinco motores se encendían simultáneamente, produciendo un empuje de 504.000 kg.

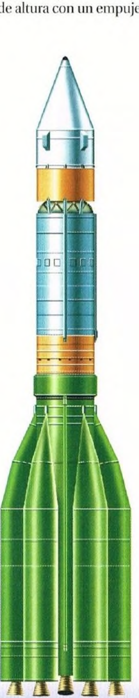
Al final de su tarea, que duraba poco más de cinco minutos, los cuatro motores se desprendían y dejaban libre la segunda etapa.

El combustible utilizado era queroseno y oxígeno líquido. La segunda etapa también quemaba este combustible; su empuje era de 96.000 kg y también permanecía encendido durante unos cinco minutos. Este cohete tenía una altura de casi 30 m y, en el despegue, pesaba 270 toneladas. Su potencia permitía colocar en órbita baja unos 1.500 kg de carga útil.

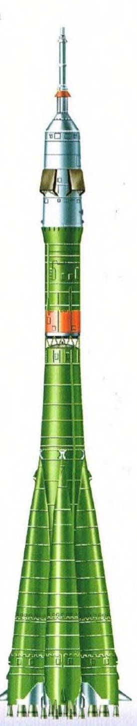
En 1959, al primer modelo le siguió un segundo, que tenía una tercera etapa de 3 m de altura con un empuje de 18.000 kg. Con este cohete, denominado A-1, los soviéticos lograron batir a los estadounidenses en la carrera para llevar al primer hombre al espacio. El 12 de abril de 1961 pusieron en órbita terrestre al cosmonauta Yuri Gagarin, que iba a bordo de la cápsula monoplaza Vostok.

Sin embargo, esta versión de cohete fue mejorada muy pronto con una tercera etapa más potente. Podía llevar en órbita baja alrededor de la Tierra 7,5 toneladas de carga útil, enviar dos toneladas de material a la Luna e incluso 1.200 kg hacia Marte o Venus. Este cohete resultó muy importante en la historia de la astronáutica rusa porque con él se lanzaron las primeras sondas hacia los planetas, los grandes satélites para telecomunicaciones y los satélites Cosmos de reconocimiento militar. Un modelo ligeramente modificado de este último, conocido con el nombre de A-2, se ha utilizado repetidamente para poner en órbita alrededor de la Tierra tanto las cápsulas Soyuz como los vehículos automáticos de reabastecimiento Progress.

Los satélites y las cápsulas lanzadas con los A-2 se cuentan por centenares.



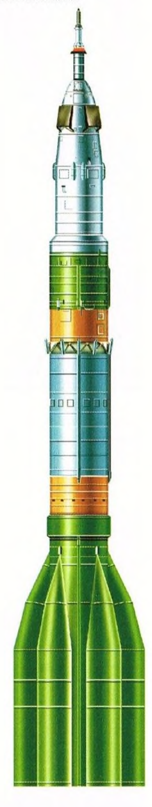
D-1 PROTON
versión de 1965



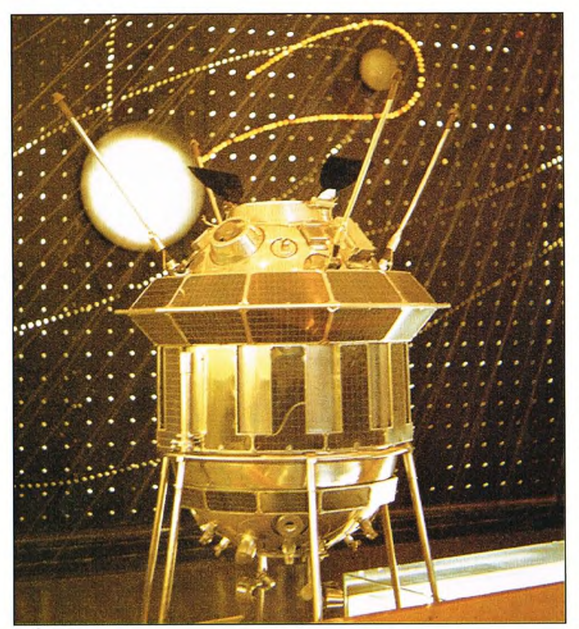
A-2 SOYUZ
versión de 1967



D-1 SALYUT 1
versión de 1971



D-1e ZOND
versión de 1968



Luná 3 fotografió la cara oculta de la Luna en 1959. Fue un gran éxito de los soviéticos.

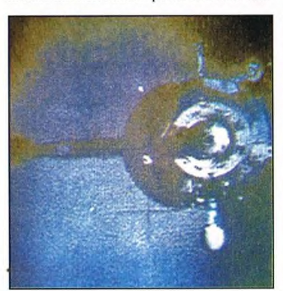
LOS LANZADORES B

Los lanzadores de la clase B constituían una categoría a la que pertenecía un misil de dos etapas que inició su actividad en 1962. Contrariamente a lo que se podría pensar, sus capacidades no son superiores a las de la clase inferior. Pueden poner en órbita una carga de 450 kg y, por tanto, se sitúan en el último lugar de la clasificación de las posibilidades que ofrecen las diversas clases de lanzadores soviéticos.

Con los B-1 se lanzaron satélites de la serie Cosmos de tipo meteorológico o militar y, sobre todo, las sondas de la serie Intercosmos, realizadas en colaboración con otros países.

En su primera etapa, el B-1 tiene un motor que funciona con queroseno y ácido nítrico. Su empuje es de 74.000 kg y puede permanecer encendido unos cuatro minutos y medio. La segunda etapa del B-1, que alcanza una altura de 30 m, tiene un motor de combustibles líquidos: oxígeno y dimetilhidracina. Dispone de una sola cámara de combustión, provista de una gran tobera de descarga, más cuatro toberas menores dispuestas en cruz para el control de la dirección del lanzador.

El empuje del RD-119 es de 11.000 kg y puede funcionar durante casi seis minutos.



A la izquierda, la cápsula de reabastecimiento automático Progress 1 a punto de acoplarse a la Salyut 6.

LOS LANZADORES C

Para cubrir la gama de cargas orbitales de un peso intermedio entre la clase B y la clase A, los soviéticos crearon los lanzadores de la clase C, que pueden colocar en órbita alrededor de la Tierra unos 1.100 kg de carga. El lanzador llamado C-1 está diseñado para lanzar satélites Cosmos e Intercosmos, satélites para la navegación y sondas militares. Este lanzador también puso en órbita satélites de tiro contra satélites asesinos experimentales. El cohete derivaba de un lanzador militar llamado SS-5, del cual ha conservado el motor que funciona con combustibles líquidos. La segunda etapa tiene una longitud de 4,8 m y también utilizaba combustibles líquidos. En servicio desde el 16 de marzo de 1962, el lanzador C-1 de dos etapas tiene una longitud de 31 m, un diámetro de 2,44 m y un peso de 100 toneladas.

LA CLASE D

La clase D agrupa los lanzadores soviéticos más potentes y sus lanzamientos se efectúan desde Baikonur/Tiuratam.

Parece que, al principio, estos lanzadores tenían la misión de transportar una potentísima bomba nuclear de 100 megatones. Afortunadamente, este proyecto fue abandonado muy pronto y el lanzador, conocido con el nombre de Proton, acabó

Abajo, el lanzador Soyuz 9 en posición de lanzamiento, pero todavía sostenido por el bastidor de estabilización.





Arriba, fotografía del satélite Sputnik 2 tomada en el laboratorio. El primer satélite de la serie, el Sputnik 1, fue el primero que se lanzó al espacio.

por ser el único empleado tanto para lanzamientos civiles como para los grandes satélites y las sondas interplanetarias.

El cohete nació con unas características que recuerdan las de los lanzadores de la clase A. Su primera etapa estaba constituida por seis cohetes de 30 m de altura y de 3,1 m de anchura dispuestos alrededor de la segunda etapa, de 31 m de altura y con un diámetro de 4,2 m. A esta última se añadía una tercera etapa, de 12 m de altura y 4,2 m de anchura, en cuya cúspide iba instalada la carga útil en un recinto de 7 m de alto. El conjunto alcanzaba una altura de 50 m.

La secuencia de vuelo era la siguiente: primero se encendían los seis cohetes de la primera etapa; utilizaban el propulsor RD-253 con 250.000 kg de empuje y funcionaban con tetraóxido de nitrógeno y dimetilhidracina asimétrica. Terminada su combustión, se separaban del cuerpo central, que en realidad era la segunda etapa. Ésta encendía sus propulsores y producía un empuje de 400.000 kg. Una vez cumplida su misión, intervenía la tercera etapa, con un empuje de 100.000 kg.

De esta manera, el lanzador D-1 podía poner en órbita baja 20 toneladas. Con él se lanzaron los satélites científicos Proton.

La versión D-1e, con algunas pequeñas variantes y la misma capacidad de carga, además de emplearse para enviar sondas Zond hacia la Luna, se utilizó –y todavía se utiliza– para la puesta de satélites en órbita geoestacionaria y el lanzamiento de sondas hacia los planetas. Con el D-1e se puede enviar una carga de 6 toneladas hacia la Luna y de 5 toneladas hacia Marte y Venus.

Desde 1970, el potente lanzador también ha colocado en órbita baja las estaciones Salyut, y, con este objetivo, se potenció ligeramente para que la carga útil pudiese llegar a 22,5 toneladas.

LOS LANZADORES F

A la clase F pertenece el lanzador F-1, realizado en las versiones «m» y «r». El primero voló a mediados de 1966. Derivado del misil estratégico intercontinental SS-9, está formado por dos etapas de combustibles líquidos de 3,4 m de diámetro. La primera etapa tiene seis propulsores de cohete fijos más cuatro cohetes direccionales. De unos 35 m de altura, el F-1m coloca 5 toneladas en órbita baja, y el F-1r 4,5 toneladas. Este cohete también se ha empleado para colocar en órbita satélites de la serie Cosmos. El F-1m se ha utilizado, sobre todo, para llevar al espacio satélites militares de vigilancia oceánica, así como satélites asesinos y de tiro.

El F-1r ha colocado en órbita bombas que podían lanzarse sobre diferentes objetivos.

LA ÚLTIMA CLASE

De la clase G formaba parte el lanzador G-1, experimentado desde 1963. Pero el cohete constituyó un rotundo fracaso desde todos los puntos de vista, y los repetidos fallos fueron una de las principales causas de la derrota de los soviéticos en la carrera hacia la Luna. Después de un notable retraso en su construcción, en 1969 el cohete estaba preparado en la rampa de lanzamiento de Baikonur. Pero una pérdida de combustible en la segunda etapa provocó una terrible explosión que fue registrada incluso por los satélites espía estadounidenses.

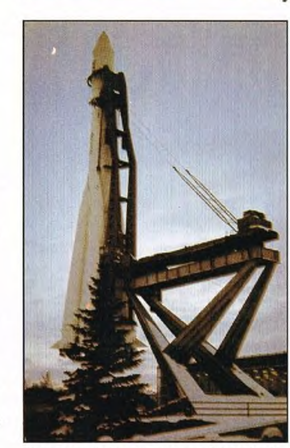
Dos años más tarde, el cohete estaba listo de nuevo, pero, en el momento de su encendido, algo funcionó mal y los técnicos soviéticos se vieron obligados a suspender el lanzamiento.

Finalmente, partió en agosto del mismo año, pero a 12 km de altura estalló en miles de fragmentos.

El siguiente vuelo, llevado a cabo el 24 de noviembre de 1972, también falló: a los pocos minutos de su lanzamiento, el cohete se desvió de la trayectoria prevista y los técnicos tuvieron que hacerlo explosionar en vuelo para impedir una caída dramática sobre la región que estaba sobrevolando.

Entonces, el proyecto fue abandonado para dar paso a un nuevo lanzador, «Energía» para los soviéticos, «Heavy-Lift Launch Vehicle» para los estadounidenses. El cohete fue lanzado dos veces, pero el proyecto se abandonó rápidamente después de la disolución de la Unión Soviética.

Este cohete debería haber servido para poner en órbita el transbordador ruso Buran –un proyecto que también se guardó en el cajón–, la MIR 2 y armas espaciales para hacer frente a una hipotética «guerra de las galaxias». El Energía M debería haber sido un cohete para poner en órbita cargas útiles de tamaño mediano, y su construcción se habría visto facilitada por los excedentes de componentes producidos en la construcción del cohete Energía. El proyecto, sin embargo, fue abandonado.



Una vez terminadas sus «tareas», el lanzador de cápsulas Vostok se transformó en monumento.



A la derecha, un cohete A-2 despega de la base de Baikonur para poner en órbita el Soyuz 16: era el 2 de diciembre de 1974.

EL SKYLAB

Hace unos 25 años, la NASA puso en órbita su primer laboratorio espacial, el Skylab. En el transcurso de tres misiones que se sucedieron en un período de pocos meses, el Skylab fue visitado por diversas tripulaciones de astronautas que realizaron experimentos científicos de todo tipo, desde la astronomía de base y la medicina, hasta el estudio de la emisión X solar. Esta misión está considerada una de las etapas más significativas de la investigación humana en el espacio.



El Skylab es uno de los laboratorios más importantes para investigaciones espaciales puesto en órbita por el hombre. Su posición privilegiada, fuera de la atmósfera terrestre, ha permitido a sus ocupantes llevar a cabo investigaciones difícilmente realizables en un laboratorio terrestre. En primer lugar, en el campo de la medicina, donde los resultados obtenidos representan, todavía hoy, un importante punto de referencia para estudiar la adaptabilidad del organismo humano a las condiciones físicas del espacio.

EL LABORATORIO

La estructura del laboratorio orbital Skylab se ensambló por completo en tierra antes de su lanzamiento y ya quedó equipada con todos los instrumentos necesarios para los experimentos científicos previstos en el programa.

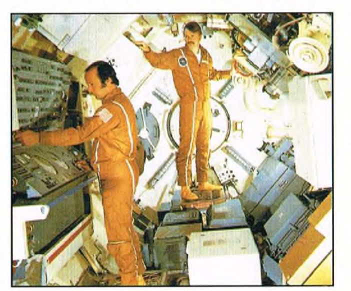
La estructura, dividida en cinco secciones principales, tenía una longitud de casi 36 m y una anchura de 6 m, con un peso total de unas 90 toneladas.

El suministro de energía del laboratorio estaba asegurado por dos paneles solares colocados junto a la parte posterior y cuatro paneles auxiliares de pequeño tamaño situados a lo largo de la espina dorsal del Skylab. Además, en su interior se había montado una cubierta especial, construida para proteger de los rayos solares el interior del laboratorio e impedir su sobrecalentamiento.

EL SKYLAB 1

La primera misión del programa Skylab se efectuó sin tripulación y consistía, esencialmente, en lanzar la cápsula que contenía el laboratorio espacial y llevarlo a la órbita operativa, a unos 400 km de altura. El Skylab fue puesto en órbita el 14 de mayo de 1973 utilizando como lanzador el cohete Saturno-V, ya empleado con éxito en las diversas misiones a la Luna. En realidad, la suspensión del programa Apollo permitió disponer de cierto número de lanzadores Saturno-V para el programa Skylab. La gran carga útil que permitían hizo posible la construcción de un laboratorio de mayor tamaño, cinco veces más pesado, y situarlo en órbita ya equipado con todos los instrumentos científicos necesarios. El satélite fue puesto en órbita

Arriba, el Skylab en órbita y, al fondo, la superficie de nuestro planeta. Obsérvese el gran «toldo parasol» de protección del laboratorio.



A la izquierda, el complicado panel de control de los mandos del Skylab. Momento en que los dos astronautas están comprobando el funcionamiento del telescopio de a bordo.

Sensores del telescopio
Antena extensible
Cocina y despensa
Contenedor para experimentos bajo vacío
Depósito de oxígeno
Paneles solares
Telescopio Apollo
Velodinamómetro
Compuerta del adaptador
Radiador del sistema de refrigeración
Depósito de nitrógeno
Depósito de agua
Módulo de servicio
Dispositivo de acoplamiento
Tobera del motor
Bisagra del panel solar lateral
Radiómetro
Depósitos de combustible (nitrógeno) y de los propulsores de control de estabilidad
Antena en banda N
Compuerta del laboratorio espacial
Conducto de distribución de aire atmosférico
Consolas de mando y control
Compuerta de acoplamiento radial
Módulo de mando
Antena
Panel solar lateral
Motores de control de estabilidad

Arriba, dibujo técnico del Skylab, el laboratorio espacial estadounidense. El cuerpo central se obtuvo de la tercera etapa de un lanzador Saturno-V. En total, el Skylab tenía una longitud de 35 m y pesaba 76 toneladas.

baja para facilitar el acceso al laboratorio a las diversas tripulaciones de astronautas.

Sin embargo, casi inmediatamente después del lanzamiento, surgieron numerosos problemas técnicos. La pantalla antisolar del satélite se rompió, y sus pedazos provocaron el desprendimiento de uno de los paneles solares principales y dañaron seriamente el segundo, impidiendo su despliegue. Además, la falta de aislamiento térmico después de la pérdida de la pantalla solar produjo una elevación de la temperatura a 52 °C en el interior del laboratorio, con el peligro de provocar graves daños a los instrumentos de a bordo. Para reducir el problema, y en espera del lanzamiento del Skylab 2, los técnicos del centro de control de Houston atenuaron con gran habilidad el sobrecalentamiento variando constantemente la posición del satélite, con lo que impidieron que una misma parte permaneciese expuesta de manera prolongada a los rayos solares.



A bordo del Skylab también se había instalado un telescopio para observaciones solares. En la fotografía, un astronauta se prepara para recuperar las películas con las imágenes tomadas por el telescopio.

EL SATURNO-V

El Saturno-V ha sido uno de los cohetes lanzadores más gloriosos que se han utilizado en las misiones espaciales de la NASA. Fue el Saturno-V el que llevó al espacio las cápsulas Apollo que colocaron al hombre en la Luna.

La estructura del Saturno-V era imponente: su peso total con plena carga era de 2.900.000 kg. El empuje propulsor estaba asegurado por un grupo de cinco motores de cohete, que funcionaban con queroseno y oxígeno líquido, instalados en el interior de la primera etapa.

EL SKYLAB 2

La primera tripulación humana que voló hacia el laboratorio espacial partió de Cabo Cañaveral durante la misión Skylab 2, el 25 de mayo de 1973.

La cita con el satélite se cumplió felizmente durante la quinta órbita alrededor de la Tierra. Los astronautas emplearon los primeros días de trabajo para resolver los incidentes producidos durante la puesta en órbita. Se procedió a la instalación de una nueva pantalla solar, construida por los técnicos de Houston en tan

LAS MISIONES SKYLAB

MISIÓN	FECHA DE LANZAMIENTO	DURACIÓN	ACTIVIDAD CIENTÍFICA	TRIPULACIÓN	FUNCIÓN
Skylab 1	14 de mayo de 1973			automático	
Skylab 2	25 de mayo de 1973	28 días 392 horas	astronomía, geología, medicina	Charles Conrad Joseph Kerwin Paul Weitz	comandante piloto piloto
Skylab 3	28 de julio de 1973	60 días 1.081 horas	astronomía, geología, medicina	Alan Bean Owen Garriot Jack Lousma	comandante piloto piloto
Skylab 4	6 de noviembre de 1973	84 días	astronomía, geología, medicina	Gerald Carr Edward Gibson William Pogue	comandante piloto piloto

En esta tabla se indican los datos esenciales de las diversas misiones Skylab llevadas a cabo en el transcurso de los seis meses de vida operativa del laboratorio. Los viajes hacia el Skylab se efectuaban mediante las cápsulas de la serie Apollo, las mismas que, desde 1969, llevaron varias veces al hombre a la Luna. La última misión también fue la más larga y, todavía hoy, constituye el récord de duración de una misión de la NASA con tripulación humana.

sólo una semana, para restablecer la temperatura interna del laboratorio a niveles aceptables (24 °C). Durante estas operaciones de mantenimiento, la tripulación totalizó más de seis horas de actividad extravehicular. El Skylab quedó completamente operativo el 4 de junio. Durante esta misión, la tripulación llevó a cabo algunos experimentos de astronomía solar, de geología y de medicina. Desde el punto de vista médico, las misiones Skylab representan una oportunidad única para estudiar las reacciones del organismo humano ante los efectos de los vuelos espaciales y de la ausencia de gravedad, así como la finalización de los experimentos iniciados durante misiones anteriores de duración más corta (Mercury, Gemini y Apollo). En particular, estos experimentos se dedicaban al estudio de las reacciones de los sistemas cardiovascular, endocrino, músculo-esquelético y hematológico mediante la monitorización continua de las condiciones físicas de los diversos miembros de la tripulación. En el transcurso de 404 órbitas (equivalentes a 28 días) se efectuaron experimentos científicos que totalizaron 392 horas. La duración de la misión Skylab 2 duplicó el límite de permanencia en el espacio establecido anteriormente por astronautas estadounidenses y, también por este motivo, constituyó un hito en la historia de la NASA.

EL SKYLAB 3

La tercera misión Skylab se lanzó el 28 de julio de 1973 con una nueva tripulación de astronautas. Durante esta operación, se prosiguieron y terminaron los experimentos de medicina iniciados en la misión anterior, aprovechando la ventaja de poder estudiar las reacciones del organismo humano durante un período de tiempo más largo (dos meses en lugar de uno). Además, se había instalado a bordo un detector de rayos X que se empleó para el estudio de la emisión difusa del cielo (fondo cósmico) y de la emisión X solar. Aparte de experimentos científicos más complejos, a bordo del Skylab se hicieron algunas pruebas más sencillas sugeridas por estudiantes de las escuelas superiores y seleccionadas mediante concurso. Entre estas pruebas, es curioso el caso de las dos arañas que llevaron los astronautas, bautizadas con los nombres de Arabella y Anita, para comprobar su capacidad de tejer telas en ausencia de gravedad. Al parecer, los dos arácnidos astronautas no mostraron ningún problema de adaptación al entorno espacial.

EL SKYLAB 4

La última y definitiva misión Skylab empezó el 16 de noviembre de 1973 y duró un total de 84 días, 1 hora y 16 minutos, por lo que se convirtió en la misión más larga de una tripulación humana en la historia de la NASA. Sin embargo, el final del Skylab no fue tan glorioso como su historia. Proyectado inicialmente para una vida operativa de unos 16 años, durante la cual debería haber servido de apoyo a numerosas misiones científicas, el Skylab terminó su vida mucho más rápidamente de lo previsto. En julio de 1979, su órbita empezó a caer rápidamente, y terminó por desintegrarse al entrar en la atmósfera terrestre.

El interior del Skylab se presentaba como un laboratorio científico muy equipado, en el que los astronautas estadounidenses efectuaban experimentos en condiciones de microgravedad.





EN EL PRÓXIMO NÚMERO

KONUS™

LOS SUPER TELESCOPIOS *En las tiendas de Foto Optica*

- *2000 Puntos de venta en toda España*
- *Extensa gama de instrumentos para la astronomía*
- *Asistencia técnica previa y posterior venta*
- *Garantia internacional*
- *2 Manuales para su uso*

KONUS ES UN NOMBRE COMERCIAL DE KONUS ITALIA S.r.l.



Cuando adquieras un telescopio, es necesario haber sido asesorado; las tiendas de foto-óptica y nuestra Oficina están a tu disposición. Los dos manuales gratuitos te dan toda la información que necesitas para su uso. Verifica que el telescopio que has recibido tenga la marca y la garantia Konus. Para obtener la lista de vendedores más cercanos, o para cualquier información sobre nuestros productos, llama al número 91-6778663.



KONUS ESPAÑA S.L. - C/Caucho, 53 - 28850 TORREJON DE ARDOZ (MADRID)
Tel 91-6778663. - Fax 91-6778538

KONUSTART 600 Ø50mm F.600 f/12

cod. 1731

EL PRIMER TELESCOPIO PARA USO TERRESTRE Y ASTRONOMICO

CARACTERISTICAS TECNICAS: Optica entubada y colimada; montura altazimutal; trípode de aluminio de dos secciones (de 72 a 111 cm.)

ACCESORIOS EN DOTACION: Dos oculares Ø24,5mm. F8 (75x) y H20 (30x); buscador 5x24; espejo diagonal a 90°; dos manuales de instrucciones.

el primer telescopio

KONUSTART-700 Ø60mm. F.700 f/11,6

cod. 1735

EL TELESCOPIO ALTAZIMUTAL CON UNA GRAN DOTACION

CARACTERISTICAS TECNICAS: Optica entubada y colimada; montura altazimutal de horquilla; trípode en madera de dos secciones (de 69 a 116 cm.).

ACCESORIOS EN DOTACION: Dos oculares Ø24,5mm. H8 (87x) y H20 (35x); buscador 5x24; espejo diagonal a 90°; lente de Barlow 2x; inversor de imágen 1,5x; dos manuales de instrucciones.

gran dotacion

KONUSTART-900 Ø60mm F.900 f/15

cod. 1739

EL TELESCOPIO ECUATORIAL PARA USO ASTRONOMICO Y TERRESTRE

CARACTERISTICAS TECNICAS: Optica entubada y colimada; montura ecuatorial; trípode en madera de dos secciones (de 69 a 116 cm.)

ACCESORIOS EN DOTACION: Dos oculares Ø24,5 mm. H8 (112x) y H20 (45x); buscador 5x24; espejo diagonal a 90°; lente de Barlow 2x; inversor de imagen 1,5x; dos manuales de instrucciones.

grupo ecuatorial

KONUSPACE-11 Ø60 mm F.900 f/15

cod. 1743

EL TELESCOPIO ECUATORIAL IDEAL PARA OBSERVACIONES ASTRONOMICAS Y TERRESTRES

CARACTERISTICAS TECNICAS: Optica entubada y colimada; montura ecuatorial motorizable; trípode en madera de dos secciones (de 78 a 121cm.)

ACCESORIOS EN DOTACION: Dos oculares Ø24,5mm. F8 (112x) y H20 (45x); buscador 5x24; espejo diagonal a 90°; inversor de imágen 1,5x; lente de Barlow 2x; dos manuales de instrucciones.

especial para planetas

KONUSPACE- 500 Ø114mm. F.500 f/4,3

cod. 1746

EL CLASICO Y LUMINOSO REFLECTOR NEWTONIANO

CARACTERISTICAS TECNICAS: Optica entubada y colimada; montura ecuatorial; trípode en madera de dos secciones (de 69 a 116 cm.)

ACCESORIOS EN DOTACION: Dos oculares Ø24,5mm. F6 (83x) y H20 (25x); buscador 5x24; filtro lunar; dos manuales de instrucciones.

newton + ecuatorial

KONUSPACE-114 Ø114mm. F.900 f/7,8

cod. 1749

EL TELESCOPIO CON AMPLIO DIAMETRO

CARACTERISTICAS TECNICAS: Optica entubada y colimada; montura ecuatorial motorizable; trípode en alumino de dos secciones (de 77 a 130 cm.)

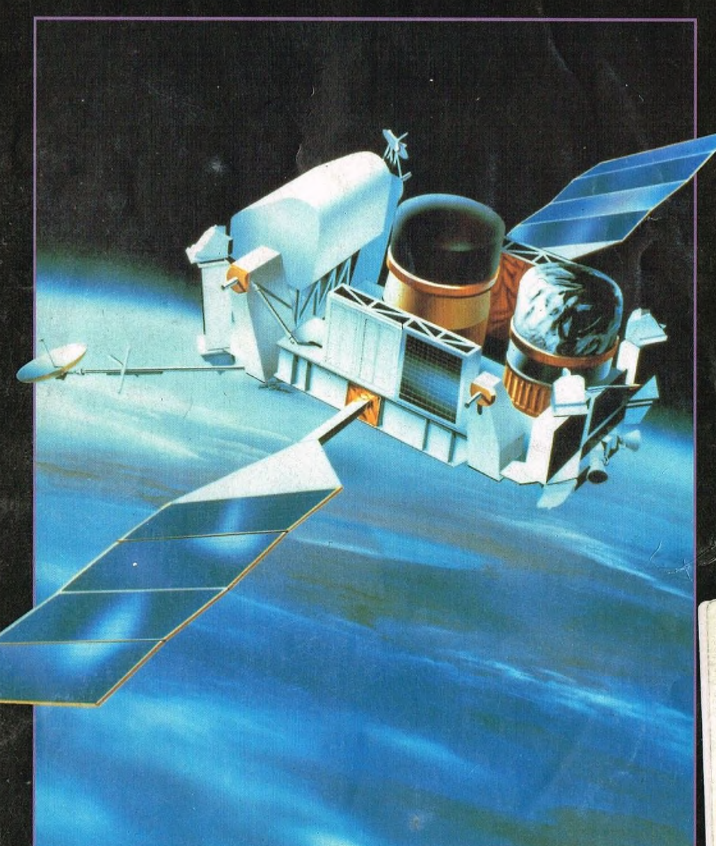
ACCESORIOS EN DOTACION: Dos oculares Ø31,8mm. K10 (90x) y K25 (36x); buscador 5x24; filtro lunar; dos manuales de instrucciones.

con 2 oculares

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

36



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

PETICIÓN DE FASCÍCULOS ATRASADOS

Válido sólo para el territorio español y para no suscriptores.

Si desea recibir algún fascículo atrasado o tapas, rellene en LETRAS MAYÚSCULAS este boletín y envíelo a:
PLANETA-DeAGOSTINI, Apartado de Correos N.º 2.867 - 08080 Barcelona, o llame al Tel. **902 288 288***

DATOS PERSONALES:

APELLIDOS

NOMBRE

CALLE O PLAZA

N.º PISO PUERTA ESC.

CÓDIGO POSTAL POBLACIÓN

PROVINCIA EDAD

TELÉFONO PROFESIÓN

FIRMA (Imprescindible)

• Recibirá contrarreembolso, más gastos de envío todo el material que nos haya solicitado.

SOLICITUD:

EL UNIVERSO
ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

Indique los números de los fascículos atrasados que desea recibir:

N.º de tapas que solicita:

Indique si desea recibir la versión con vídeo o sin vídeo:

Con vídeo ☐ Sin vídeo ☐

• Planeta-DeAgostini mantendrá su servicio de petición de atrasados hasta un plazo máximo de 18 meses a partir de la fecha de venta de cada uno de los números que forman la colección.

LOS RAYOS CÓSMICOS

Constantemente viajan hacia la Tierra unas partículas procedentes del espacio, los rayos cósmicos, que al encontrarse con la atmósfera de nuestro planeta producen una cascada de otras partículas elementales. No se conoce su origen.



De los distintos campos de la física, la astrofísica es probablemente el más completo. Esta ciencia requiere el concurso de la mecánica, que estudia el movimiento de los cuerpos a escala grande y pequeña, y de la relatividad, pero también de la física nuclear, fundamental para explicar la evolución estelar, y de la física de partículas. Los astrofísicos se interesan no sólo por los cuerpos de gran tamaño, como las estrellas o todavía más las galaxias, sino también por el mundo de lo infinitamente pequeño. Objetos de este estudio son, por ejemplo, los neutrinos, partículas elusivas que emiten las estrellas como subproducto de las reacciones nucleares, y los rayos cósmicos.

UN TEMA LIMÍTROFE

El estudio de los rayos cósmicos constituye un campo de investigación que se encuentra en los límites entre la astrofísica, la física nuclear y la física de las partículas elementales. Con el término genérico de rayos cósmicos se refieren los físicos al conjunto de partículas de procedencia extraterrestre que llenan el espacio que rodea la Tierra. Se trata de unas partículas de energía extremadamente elevada, unas mil veces mayor que la que alcanzan las partículas en los aceleradores. A modo de comparación, una sola de estas partículas posee la misma energía cinética que una pelota de tenis lanzada a una velocidad de 200 km/h. Estudiar la naturaleza y el origen de estas partículas equivale a investigar algunos de los fenómenos más interesantes de nuestro universo.

EL DESCUBRIMIENTO DE LOS RAYOS CÓSMICOS

La hipótesis de la existencia de una forma de radiación corpuscular procedente de una fuente exterior a nuestro planeta

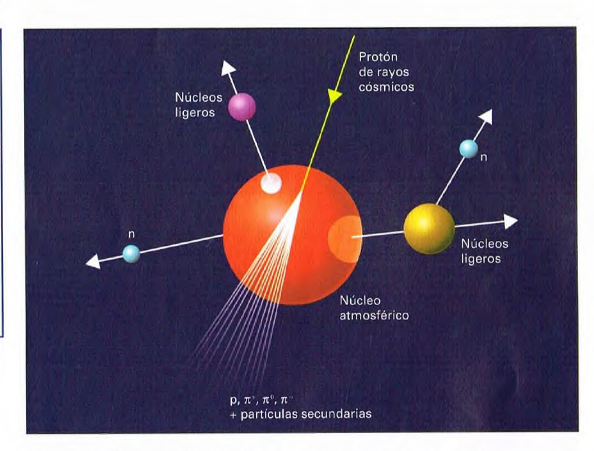
La galaxia NGC 4565, que vista desde la Tierra se presenta de perfil.

PERTURBACIONES DE LAS SEÑALES

La presencia de los rayos cósmicos alrededor de la Tierra constituye un serio problema para las observaciones realizadas por las sondas en órbita. Las partículas cósmicas no sólo perturban los sistemas electrónicos del satélite sino que son fuente de interferencias con los instrumentos científicos de a bordo. Un caso espectacular se produjo con las imágenes del telescopio espacial Hubble, que fueron contaminadas por señales espúreas debidas a la interacción de las partículas cósmicas con la superficie del detector.

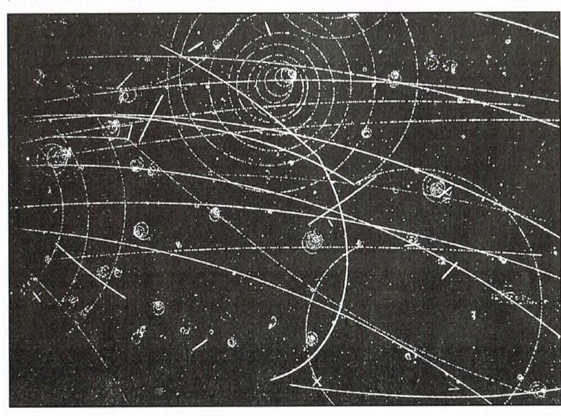
empezó a tomar cuerpo en el primer decenio de este siglo. Concretamente, la hipótesis fue sugerida por estudios sobre fenómenos ligados a la conductividad eléctrica de los gases. Los estudios realizados en el laboratorio demostraban que cualquier electroscopio, después de cargarse eléctricamente, no mantenía indefinidamente la carga de sus láminas.

Según las leyes de la electrostática, el fenómeno sólo podía explicarse suponiendo que no todas las partículas que llenaban el aire circundante eran eléctricamente neutras; algunas debían estar ionizadas y poseer, por tanto, una carga positiva o negativa. Una vez establecida la causa del fenómeno, quedaba por averiguar qué mecanismo provocaba la ionización del aire. Inicialmente, se pensó en la acción de radiaciones procedentes de sustancias radiactivas presentes en la corteza terrestre. Vale la pena recordar que la radiactividad natural había sido descubierta pocos años antes, concretamente en 1896, por el físico francés Henri Becquerel (1852-1908); también se había averiguado que esta radiactividad consistía en tres tipos principales de radiaciones: los rayos α (núcleos de helio), β (electrones) y γ (fotones de alta energía). Gracias a su elevado poder de penetración, éstas eran las únicas partículas capaces de ionizar el aire. Dicha hipótesis, sin embargo, no tardó en ser desmentida por los primeros experimentos realizados en altura. Medidas efectuadas llevando algunos electroscopios a la cima de la torre Eiffel pusieron de manifiesto que los aparatos tendían a descargarse pese a su lejanía de las fuentes de radiactividad natural. El resultado, obviamente, era incompatible con la hipótesis de que la



Representación gráfica de la interacción entre un protón de los rayos cósmicos y un núcleo atmosférico, con producción de varias partículas secundarias.

radiación ionizante era exclusivamente de origen terrestre. Si tal hubiera sido el caso, el flujo radiactivo habría debido disminuir rápidamente con la distancia a la superficie terrestre y también habría debido reducirse la tasa de ionización de las partículas atmosféricas. En 1912, los físicos Hess y Kolhoerster iniciaron una larga serie de experimentos a mayor altura (entre 5 y 9 km) montando los aparatos en globos aerostáticos. Los experimentos demostraban que la velocidad de descarga del electroscopio tendía a aumentar a altitudes superiores a los 1.500 m. El resultado sólo podía interpretarse suponiendo que la tasa de ionización de la atmósfera aumentaba por encima de los 1.500 m y que, por consiguiente, la radiactividad terrestre desempeñaba un papel secundario en el fenómeno. La única explicación plausible era la existencia de una forma de radiación ionizante en las capas altas de la atmósfera, cuyo origen debía ser necesariamente extraterrestre. Esta radiación recibió el nombre de rayos



Trazas de partículas elementales en un detector, que permiten su visualización.

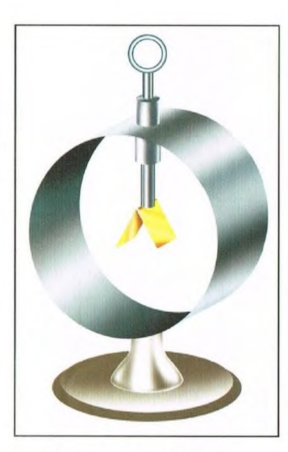
cósmicos. A partir de entonces, el estudio de los rayos cósmicos estuvo estrechamente ligado a la evolución de la física nuclear.

LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS RAYOS CÓSMICOS

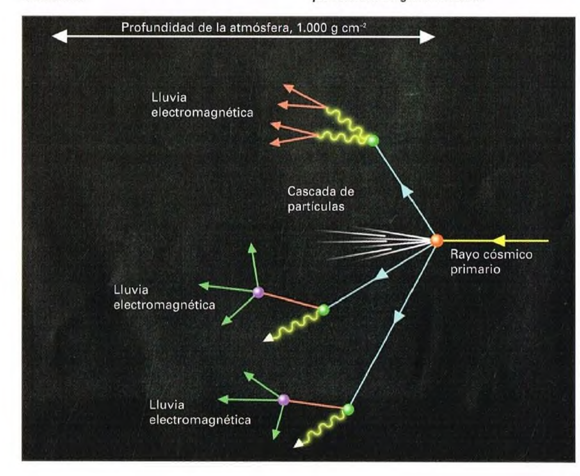
En la época de su descubrimiento, los rayos cósmicos eran, con mucho, la forma de radiación más penetrante conocida. El primer científico que avanzó una hipótesis sobre la naturaleza de los rayos cósmicos fue el físico inglés Millikan, quien supuso que estaban constituidos por fotones muy energéticos (rayos gamma), los cuales eran absorbidos por la atmósfera e interactuaban mediante el efecto Compton. En particular, Millikan pensó que tales fotones nacían de procesos de fusión nuclear del gas interestelar. Esta teoría, sin embargo, fue desmentida unos años más tarde.

En 1929, los científicos alemanes Bethe y Kolhoerster, mediante un detector de reciente construcción (el contador Geiger-Muller), demostraron que la radiación cósmica debía estar eléctricamente cargada y, por lo tanto, debía ser de naturaleza corpuscular.

Ulteriores experimentos llevados a cabo en los años treinta por el estadounidense Blackett y el italiano Occhialini demostraron que las partículas cósmicas podían generar enjambres de partículas secundarias. Este resultado fue posible gracias a un nuevo detector, la cámara de niebla, que permite determinar la traza dejada por la partícula cargada cuando atraviesa un gas. Observando estas trazas, Blackett y Occhialini descubrieron que en algunos casos se dividían en varios



La existencia de una forma de radiación desconocida se descubrió con un simple electroscopio. Se trata de un instrumento muy sencillo que consta de una varilla metálica en cuyos extremos hay dos láminas de oro. Al acercar una carga eléctrica a su extremo, el electroscopio se carga por inducción electrostática y adquiere una carga de signo opuesto. Esta carga, sin embargo, no permanece indefinidamente, lo que indica que el aire que rodea el electroscopio no es neutro, sino que contiene cargas eléctricas.

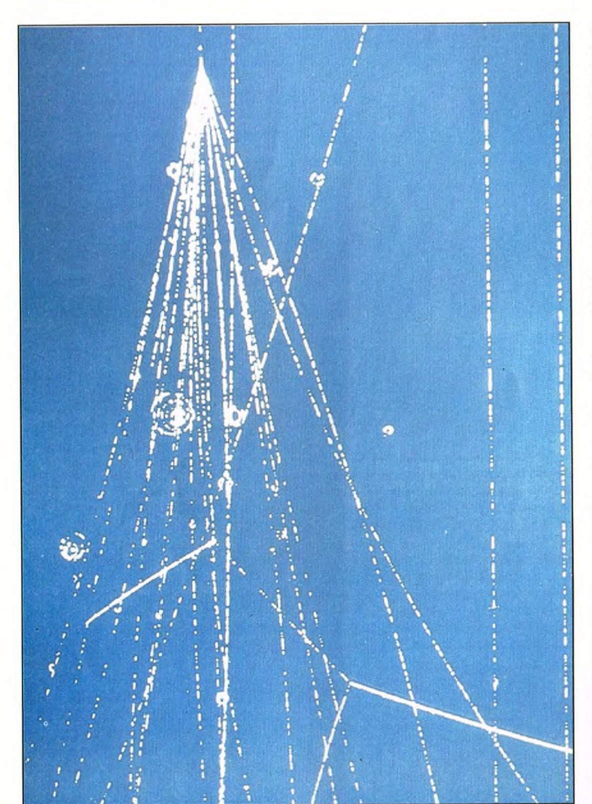


El esquema de abajo muestra cómo se produce la formación de la radiación cósmica secundaria en las capas altas de la atmósfera. Un rayo cósmico interactúa con un núcleo atmosférico y produce partículas secundarias inestables (mesones π o piones) y núcleos secundarios. Los piones se desintegran rápidamente dando, según sean neutros (π^0), positivos (π^+) o negativos (π^-), fotones de alta energía (γ) o muones (μ^+ o μ^-). Con mayor detalle, la secuencia es la siguiente: un pión positivo (π^+) o negativo (π^-) se desintegra en un muón positivo (μ^+) o negativo (μ^-), los cuales, a su vez, se desintegran en un positrón y un electrón y varios tipos de neutrinos (υ). Los piones neutros (π^0) se desintegran directamente en un par de rayos γ, los cuales, a su vez, producen un par electrón-positrón. Mientras que los neutrinos pasan a través de la materia sin interactuar, las demás partículas producidas se detectan como parte de la radiación cósmica secundaria.

PERSONAJES

GIUSEPPE OCCHIALINI 1907-1993

Una de las mayores contribuciones al estudio y a la comprensión de los rayos cósmicos procede sin duda del italiano Giuseppe Occhialini, uno de los físicos más brillantes de su generación. Licenciado por la Universidad de Florencia a los 22 años, Occhialini pasó la primera parte de su carrera en los Laboratorios Cavendish de Cambridge, donde contribuyó a elaborar algunas técnicas de detección de partículas, ya anticipadas por otro ilustre físico italiano, Bruno Rossi, que permitieron el descubrimiento del positrón. Pese al indudable valor de su investigación científica, Occhialini no tuvo nunca la satisfacción de recibir el premio Nobel, del que estuvo muy cerca en 1948 y 1950. En 1952 pasó a ser profesor de física de la Universidad de Milán, donde fundó un grupo de investigación dedicado al estudio de los rayos cósmicos y de las partículas elementales, y formó valiosas generaciones de investigadores. Junto a Edoardo Amaldi, Giuseppe Occhialini dio un notable impulso al desarrollo, todavía naciente, de la investigación espacial europea y fue uno de los fundadores del proyecto ESA, que llevó al lanzamiento del satélite COS-B para las observaciones de los rayos gamma.



Aunque no son directamente visibles, los rayos cósmicos pueden fotografiarse mediante técnicas especiales de detección. Una de ellas consiste en el empleo de emulsiones fotográficas particularmente sensibles. Cuando un rayo cósmico atraviesa un material así, interactúa con él a nivel nuclear y provoca la emisión de partículas secundarias (los llamados enjambres), las cuales, al dispersarse por la emulsión fotográfica, dan origen a las características rayas. Así es posible visualizar fácilmente el punto exacto en el que el rayo cósmico ha interactuado.

segmentos, cada uno de los cuales estaba ligado a la formación de una nueva partícula.

Esta serie de estudios llevó rápidamente a pensar que las interacciones debían producirse incluso en las capas más altas de la atmósfera y que, en realidad, debían existir dos tipos de radiación cósmica, una de tipo primario y otra de tipo secundario.

LA ANTIMATERIA EN LOS RAYOS CÓSMICOS

En el mismo período, el físico estadounidense Anderson realizó experimentos para determinar la naturaleza de las partículas que formaban los enjambres. Tratándose de partículas cargadas, debían ser sensibles a la acción de un campo magnético. Anderson, por tanto, repitió las medidas precedentes pero sometiendo la cámara de condensación a la acción de un campo magnético muy potente y observando las trazas dejadas por los enjambres. En particular, Anderson observó que las trazas no siempre se curvaban en la misma dirección, por lo que concluyó que algunas partículas debían estar cargadas positivamente y otras negativamente.

Las únicas partículas elementales, eléctricamente cargadas, conocidas entonces eran el electrón (negativo) y el protón (positivo). Medidas más precisas, sin embargo, llevaron a la conclusión de que en algunos casos las partículas positivas no eran protones. Calculando, a partir de las trazas, el radio de curvatura y el poder ionizante de las partículas, Anderson logró determinar su masa.

Sorprendentemente, ésta resultó igual (dentro de los márgenes de error experimental) a la del electrón.

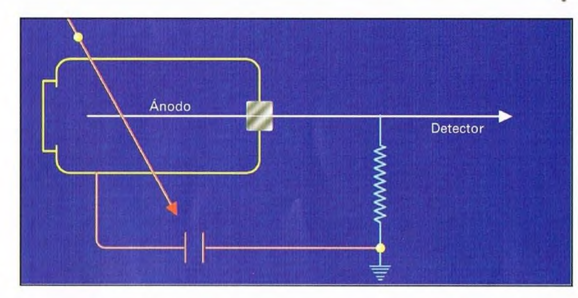
Por tanto, los experimentos sobre los rayos cósmicos habían llevado a la evidencia experimental de la existencia de las antipartículas, hasta entonces solamente postulada por las teorías del físico Dirac.

EL ORIGEN DE LOS RAYOS CÓSMICOS

El origen de los rayos cósmicos constituye un enigma todavía no resuelto. En particular, todavía no está claro si estos rayos son de procedencia exclusivamente galáctica o también los hay de origen extragaláctico, en cuyo caso el universo estaría atravesado por un flujo constante de tales partículas. El problema principal consiste en la incapacidad de establecer con seguridad la dirección de llegada de los rayos cósmicos y, por tanto, de identificar las fuentes emisoras. Exceptuando un porcentaje mínimo de rayos cósmicos formados por rayos gamma (radiación electromagnética), la mayoría son partículas cargadas, sensibles a la acción del campo magnético de nuestra Galaxia y de otros cuerpos celestes próximos. Por ello, los rayos cósmicos sufren continuas desviaciones que impiden reconstruir su trayectoria original. Ya sea dentro o fuera de nuestra Galaxia, seguramente existen cuerpos, como los núcleos galácticos activos y los púlsares, alrededor de los cuales se producen fenómenos especiales que provocan la emisión de partículas extremadamente energéticas. La hipótesis más plausible, pues, es que los rayos cósmicos constan de una componente galáctica y de otra extragaláctica.

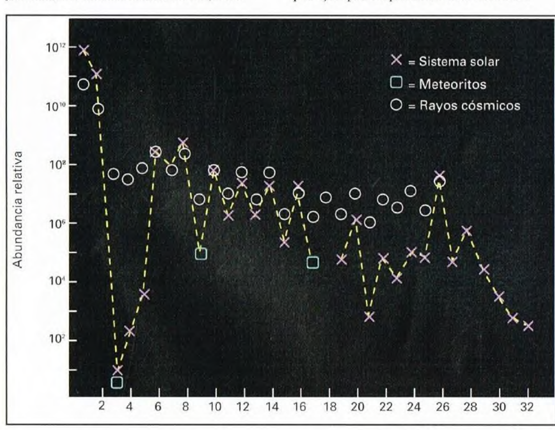
LA RADIACIÓN CÓSMICA PRIMARIA

La composición de la radiación cósmica primaria ha sido largamente estudiada por medio de todo tipo de detectores, primero llevados a gran altura en globos y sondas estratosféricas, y luego, con el progreso de la astronáutica, a bordo de cohetes y satélites artificiales en órbita alrededor de la Tierra. Al estar constituida en su mayor parte por partículas cargadas, la radiación cósmica es sensible a la acción de campos magnéticos. Por ello, el movimiento de los rayos cósmicos está influido por el campo magnético terrestre. Este hecho determina la creación de regiones alrededor de nuestro planeta donde la densidad de partículas cargadas es mayor. Así ocurre, por ejemplo, en los llamados Cinturones de Van Allen. Los estudios sobre el comportamiento de los rayos cósmicos en el seno del campo magnético terrestre habían logrado establecer que la radiación cósmica primaria estaba básicamente constituida por partículas de carga positiva: protones (los más energéticos y numerosos, cerca del 87%), núcleos atómicos (desde el hidrógeno y el helio hasta núcleos más pesados) y positrones. Un porcentaje menor de la radiación cósmica primaria corresponde a los electrones y a los rayos gamma. Estos últimos serían el producto secundario de las interacciones entre las demás partículas cósmicas y el gas presente en el espacio interestelar.



El esquema representa un detector Geiger-Muller.

Abajo, distribución de la abundancia relativa de los elementos en el sistema solar, en los meteoritos y en los rayos cósmicos. Del diagrama se deduce inmediatamente que los mismos elementos tienden a ser más abundantes en los rayos cósmicos que en el promedio del sistema solar. Ello es debido, en particular, al mayor porcentaje de núcleos de litio, berilio y boro.



LA RADIACIÓN CÓSMICA SECUNDARIA

Durante la travesía de la atmósfera terrestre, la componente primaria de la radiación cósmica es gradualmente absorbida y se generan, por interacción nuclear, los rayos cósmicos secundarios.

Al nivel del mar, ya no hay trazas de la radiación primaria y se observa sólo la componente secundaria. Cuando una partícula de la radiación cósmica primaria, por ejemplo un protón, incide sobre un núcleo de la atmósfera, se producen otros núcleos atómicos, a menudo radiactivos, y algunas partículas más o menos inusuales, como los muones y los piones, que se desintegran en tiempos extremadamente breves (iguales, respectivamente, a dos millonésimas y dos cienmillonésimas de segundo), emitiendo electrones, positrones y neutrinos. Cuando, en cambio, la partícula cósmica es un nucleón, la interacción con los núcleos atmosféricos provoca su completa aniquilación y la formación de partículas de todo tipo.

DETECTORES DE RAYOS CÓSMICOS

Uno de los instrumentos más utilizados para el estudio de los rayos cósmicos es el bien conocido contador de Geiger-Muller, ya empleado en física nuclear y que lleva el nombre de los dos científicos que lo inventaron.

Básicamente, un contador de Geiger-Muller es un recipiente lleno de gas, atravesado por un hilo metálico mantenido a alto voltaje. Cuando un rayo cósmico atraviesa el contador, ioniza el aire de su interior y provoca una cascada de electrones que son acelerados hacia el hilo y producen una señal eléctrica.

Otro de los instrumentos más utilizados es la cámara de niebla. Se trata de un recipiente lleno de gas neutro colocado entre dos electroimanes. Al penetrar en el interior de la cámara, el rayo cósmico ioniza los átomos del gas, y al propagarse produce una huella fácilmente identificable y registrable por medio de simples fotografías. Más o menos igual funcionan los instrumentos que utilizan emulsiones nucleares, sustancias similares a las usadas para las emulsiones fotográficas, pero mucho más sensibles a las radiaciones ionizantes que a la luz visible. También en este caso, el rayo cósmico, al atravesar la emulsión, ioniza sus átomos y produce una traza característica.

CLASES DE ESTRELLAS VARIABLES

Las estrellas sufren cambios: algunos pueden significar la muerte del astro, otros son superficiales y otros son sólo aparentes.



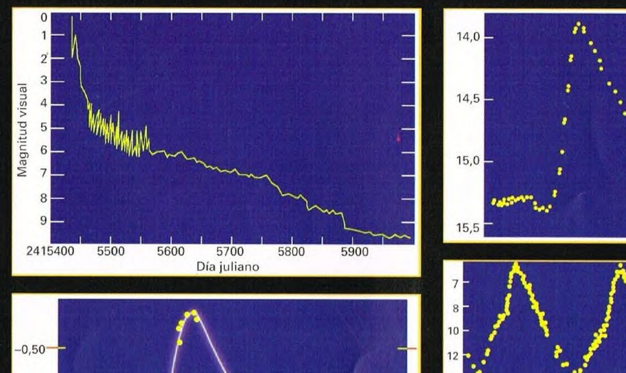
Las estrellas cambian durante el curso de su vida: nacen, viven y mueren. Las modificaciones se producen a lo largo de períodos de tiempo extremadamente largos. Por ello, en el curso de nuestra vida no nos es posible seguir toda la evolución de una estrella. No obstante, en determinados momentos de su vida las estrellas sufren modificaciones que pueden ocurrir en tiempos brevísimos y resultan perfectamente observables.

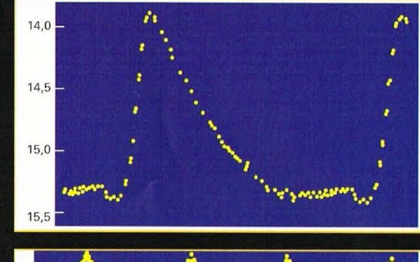
LA VARIABILIDAD VIOLENTA DE LAS SUPERNOVAS

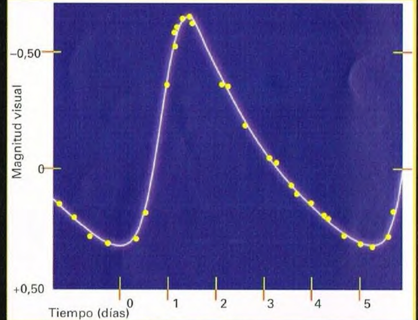
Brevísima con respecto a la vida entera de una estrella de gran masa es, por ejemplo, su muerte: tal es el caso de las explosiones de supernovas. En muy poco tiempo, la expulsión de las capas externas de la estrella la hace aparecer en el cielo como un objeto de luminosidad notablemente superior a la inicial.

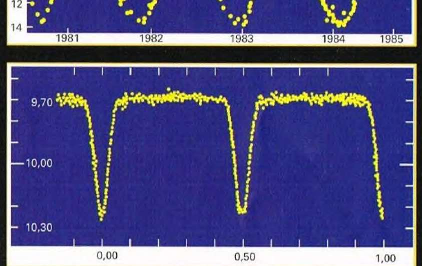
Los resultados de este fenómeno escalofriante son dos: el núcleo de la estrella colapsa en una estrella de neutrones, o en un agujero negro, mientras que sus capas externas son expulsadas y forman el llamado remanente de supernova. Este último está compuesto por gas y polvo que se expanden calentando el medio interestelar y resplandecen durante un tiempo, haciéndose visibles para los telescopios. En tal caso se habla de variabilidad porque el esplendor de la estrella aumenta notablemente.

Abajo, fotografía tomada por un aficionado, en la que se ve el cúmulo globular M22 de la constelación de Sagitario. En los cúmulos globulares hay distintos tipos de variables pulsantes.









LAS VARIABLES CATACLÍSMICAS

Igual de rápidos, pero causados por un fenómeno muy distinto, son los cambios que sufren las estrellas que se denominan «variables cataclísmicas».

En dos o tres días la luminosidad de la estrella aumenta considerablemente como consecuencia de una enorme expansión de las capas superficiales. En este caso, sin embargo, la expansión no es debida a la muerte de la estrella sino al hecho de que dichas estrellas se encuentran formando sistemas binarios: se trata de estrellas que orbitan la una alrededor de la otra.

Cuando las dos estrellas del sistema tienen masas distintas, sucede que la más masiva agota antes que la otra su combustible nuclear. Entonces, se expande y se convierte en una gigante roja. Si las dos estrellas están lo bastante próximas y su atracción gravitacional es suficientemente intensa, parte de esta materia en expansión puede ser atraída por el campo gravitacional de la otra estrella y caer sobre ella: se habla en tal caso de acreción de materia. Si la estrella que sufre la acreción es una enana blanca, la materia que cae y se acumula sobre su superficie puede alcanzar condiciones de temperatura y densidad tan elevadas que entra en combustión como la materia del núcleo de las estrellas, esto es, por medio de reacciones termonucleares. Esta repentina detonación hace que nosotros observemos un brusco aumento de la luminosidad óptica.

Por tanto, las variables cataclísmicas son enanas blancas pertenecientes a sistemas binarios en cuya superficie se desencadenan las llamadas erupciones termonucleares de la materia que cae sobre su superficie y que procede de la estrella compañera del sistema binario. Una subclase de las variables cataclísmicas la constituyen las novas. Existen distintos tipos de novas según el aumento de luminosidad y según que la explosión sea única o reiterada.

Se habla de novas clásicas cuando se ha observado una sola explosión y de novas recurrentes cuando se han detectado varias. Por tanto, una explosión de nova, a diferencia de una supernova, es un episodio que concierne sólo a la superficie de la estrella. Una supernova, en cambio, es un hecho único y, por así decirlo, fatal: constituye el modo a través del cual mueren las estrellas más grandes.

En las novas y en las supernovas, por tanto, los cambios de luminosidad de la estrella son más bien rápidos y de notable entidad.

En las figuras se representan curvas de luz de distintos tipos de estrellas variables: tres estrellas variables pulsantes (RR Lyrae, arriba a la derecha; cefeidas, abajo a la izquierda, y X Cygni, en el centro a la derecha); una nova, arriba a la izquierda, y una estrella binaria eclipsante, abajo a la derecha.

VARIABILIDADES MÁS TRANQUILAS

Hay fases en la evolución de una estrella en que se asiste a cambios de luminosidad más bien modestos y periódicos en el tiempo. Se trata de estrellas que cambian de luminosidad a causa de una alternancia de expansiones y contracciones de las capas superficiales. Estos cambios se producen en una estrella cuando atraviesa la llamada «banda de inestabilidad» del diagrama HR y alcanza determinados valores de la temperatura superficial y la luminosidad. Se habla en tal caso de «variables pulsantes».

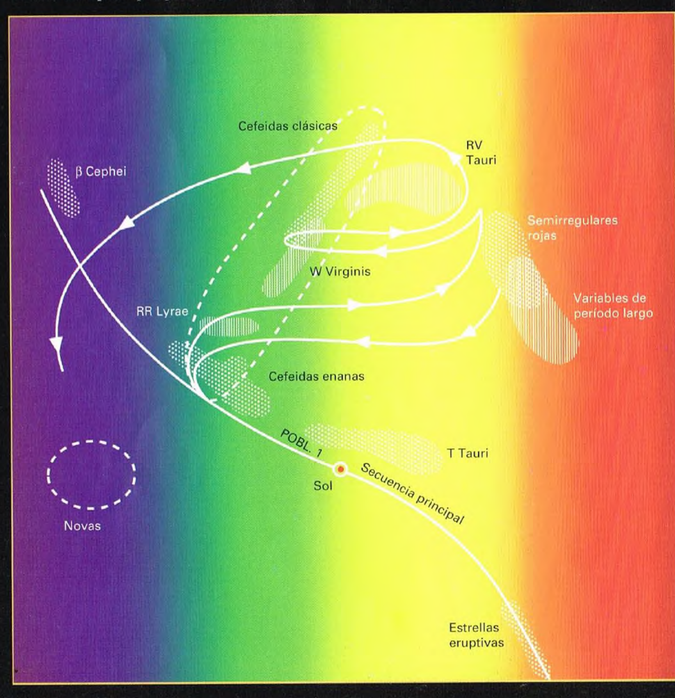
Pertenecen a esta categoría las famosas e importantísimas variables cefeidas. Gracias a su pulsación característica es posible deducir su luminosidad absoluta y por tanto su distancia. La técnica basada en las cefeidas es uno de los métodos fundamentales para la determinación de las distancias en astrofísica. Además, el estudio de las estrellas variables pulsantes es de notable importancia como banco de pruebas de las teorías de la evolución estelar y como auténtico laboratorio para estudiar la estructura estelar. En efecto, tratando de explicar por qué en algunas estrellas se producen ciertas modificaciones podemos esbozar un cuadro más claro de cómo se han estructurado estos maravillosos cuerpos celestes.

CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTRELLAS VARIABLES

ESTRELLAS VARIABLES	PERÍODO	CAUSA DE LA VARIABILIDAD
Supernovas	ninguno	explosión debida a la muerte de una estrella de gran masa
Novas clásicas	desconocido (10^4-10^5 años)	explosiones en componentes de binarias
Novas recurrentes	> 10 años	explosiones en componentes de binarias
Cefeidas clásicas	de 1 a 50 días	pulsaciones radiales
RR *Lyrae*	de 0,2 a 1 día	pulsaciones radiales
Mira	de 100 a 400 días	pulsaciones radiales
Binarias eclipsantes	variable	eclipses, mareas, distorsiones elipsoidales

INESTABILIDAD ESTELAR

Las variables pulsantes también se clasifican en distintas clases según su posición en el diagrama HR y según el tipo y el período de la pulsación. El



En el diagrama de Hertzsprung-Russell, en el cual se representa la luminosidad intrínseca como función de la temperatura de las estrellas, las variables ocupan posiciones características según la clase a que pertenecen. En particular, la región delimitada por la línea de puntos indica la llamada banda de inestabilidad, donde se concentra la mayor parte de las variables pulsantes.



período es el tiempo típico que transcurre en un ciclo completo de una expansión y una contracción sucesivas de la atmósfera de la estrella. Las cefeidas clásicas tienen períodos comprendidos entre uno y cincuenta días y presentan variaciones de luminosidad óptica de aproximadamente una magnitud. Las W *Virginis* son más débiles que las anteriores, pero mientras que las cefeidas clásicas se encuentran en los brazos espirales de nuestra Galaxia, aquéllas ocupan el halo y la región central, unas regiones que se consideran más viejas.
Un grupo particularmente importante de estrellas variables son las RR *Lyrae*, también llamadas variables de cúmulo porque se encuentran en gran número en los cúmulos globulares, los sistemas estelares más viejos de nuestra Galaxia. Se trata de estrellas cuya luminosidad varía regularmente con períodos inferiores a un día. Existen además las Mira *Ceti*, que son estrellas variables de largo período, ya que llegan a rebasar los cien días. También aparecen estrellas que presentan variaciones irregulares de luminosidad. En tal caso no es posible definir un verdadero período de variabilidad; en consecuencia, su estudio es más difícil.

ESTRELLAS BINARIAS FOTOMÉTRICAS

El brillo de una estrella puede variar en el tiempo no sólo a causa de explosiones o pulsaciones, sino también debido a eclipses producidos por otra estrella que orbita a su alrededor. Se habla entonces de «estrellas binarias eclipsantes». Las variaciones de luminosidad son debidas no a una variabilidad intrínseca, como en el caso de las estrellas pulsantes, sino al modo de presentarse la estrella ante nuestros ojos. El período con el que varía el brillo de la estrella es igual al período orbital, esto es, al tiempo que emplea la estrella en completar una órbita en el sistema binario. Como es fácil de comprender, no todas las estrellas de un sistema binario presentan una luminosidad variable debida a eclipses.

El fenómeno se verifica sólo en aquellos sistemas binarios en los que el plano de la órbita está inclinado de tal modo que una de las estrellas pase entre nosotros y la otra estrella durante su movimiento orbital, provocando un eclipse. Esta clase de estrellas variables se llaman también «binarias fotométricas» porque su naturaleza binaria se deduce de la mera observación de las variaciones de luminosidad óptica. En los sistemas

En el centro de la fotografía se ve la galaxia NGC 4526. Lejos del núcleo, a la derecha de la imagen, se advierte la presencia de una estrella brillante. Se trata de una supernova. Estos astros son estrellas que explotan aumentando enormemente su luminosidad, que a veces es comparable a la de la propia galaxia que los contiene.

3
4
2
1
2
3
4
Magnitud aparente
Período
Tiempo

Curva de luz de una estrella binaria eclipsante: la alternancia de máximos y mínimos es debida a los eclipses de la estrella compañera.

inclinados de modo desfavorable, esto es, cuando no se observan eclipses, el que se trate de dos estrellas que orbitan la una alrededor de la otra se deduce de métodos espectroscópicos basados en el efecto Doppler. Las rayas del espectro de una estrella que se mueve a lo largo de una órbita sufren desplazamientos Doppler debidos al hecho de que al recorrer parte de su órbita la estrella se acerca al observador, mientras que al recorrer el resto de la órbita se aleja de él. Se habla en este caso de «binarias espectroscópicas».

OTROS TIPOS DE ESTRELLAS CON LUMINOSIDAD VARIABLE

Hay otros sistemas binarios en que la luminosidad de una de las estrellas varía, pero no debido a eclipses o a variabilidades intrínsecas, sino a la diferente superficie emisora que la estrella presenta al observador a lo largo de su órbita. Esto puede suceder cuando una de las estrellas es una estrella de neutrones y la otra una estrella de gran masa: la atracción gravitacional ejercida por la primera puede ser tan intensa que la estrella compañera pierde su clásica forma esférica y se alarga hacia la estrella de neutrones hasta adoptar una forma elipsoidal. En este caso, la estrella compañera sufre variaciones de luminosidad no a causa de eclipses, que no se observan porque la estrella de neutrones es muy pequeña comparada con la otra, sino debido a que a lo largo de su órbita presenta al observador

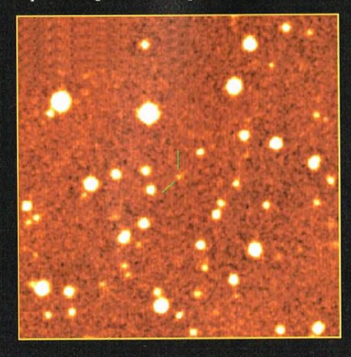


Imagen del ESO que muestra el púlsar GRO J1744-28, descubierto en enero de 1996. Durante cierto tiempo este objeto fue la fuente X celeste más brillante. A comienzos de mayo del mismo año, la intensidad de la emisión se redujo considerablemente y volvió a aumentar al cabo de un mes. Estos fenómenos se denominan burst.

LAS DISTORSIONES ELIPSOIDALES

En un sistema binario formado por una estrella de neutrones y otra estrella de gran masa puede suceder que ésta se alargue hacia la primera a causa de la intensa atracción gravitacional. En este caso, la estrella compañera pierde su forma esférica y adquiere otra elipsoidal. La curva de luz típica que se observa en un sistema de este tipo presenta dos máximos y dos mínimos para cada período orbital. Ello es debido a que la estrella de gran masa muestra al observador distintas partes de su superficie en el curso de su movimiento orbital alrededor de la estrella de neutrones: el flujo óptico medio procedente de la estrella depende de la dirección de observación. En una posición, la estrella de neutrones se encuentra entre nosotros y la estrella compañera, mientras que en otra la estrella compañera eclipsa a la estrella de neutrones.

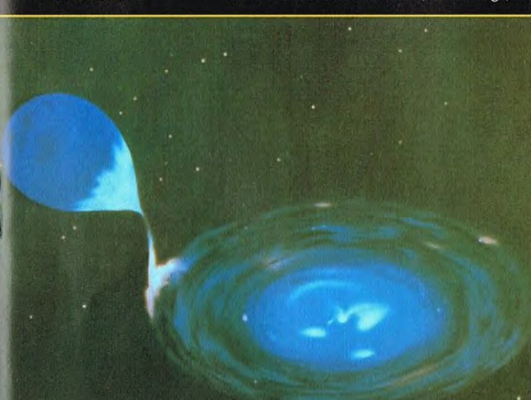
una superficie variable. En este caso se dice que la luz procedente de la estrella compañera es «modulada» durante su movimiento orbital. Se trata de una variabilidad aparente, pues la luminosidad de la estrella no varía intrínsecamente. Las variaciones del flujo que observamos se deben solamente a las distintas caras que la estrella nos muestra al girar.

LAS CURVAS DE LUZ COMO HUELLAS DIGITALES

La observación y el estudio de las estrellas variables, sean del tipo que sean, tienen una importancia fundamental en astrofísica.

Toda estrella variable, ya sea una supernova o una nova, una variable pulsante o una binaria eclipsante, presenta una curva de luz característica. Esto significa que la variación de la luminosidad con el tiempo es una especie de huella digital que permite a los astrónomos determinar qué tipo de estrella están observando. Esto, sin embargo, nos puede inducir al error de creer que la búsqueda de estrellas variables constituye una actividad sencilla. La variación del brillo de una estrella puede ser tan pequeña que no nos sea posible detectarla con los instrumentos que tenemos a nuestra disposición. Por otra parte, la identificación de una estrella variable y su catalogación sobre la base de la curva de luz son de enorme interés. Ya hemos hablado de las cefeidas y de su papel fundamental en la determinación de las distancias.

Abajo, representación pictórica de la interacción entre dos estrellas de características diferentes que componen un sistema binario. La estrella gigante, a la izquierda, cede gas a su compañera, más compacta, provocando en ella una variación de luminosidad.



ES POSIBLE PESAR LAS ESTRELLAS... DE DOS EN DOS

El estudio de otros tipos de estrellas variables, como las que forman los sistemas binarios, es muy importante porque analizando las variaciones debidas al movimiento orbital se pueden calcular los parámetros de la órbita del sistema binario (período orbital, inclinación del plano de la órbita y distancia entre las estrellas) y la masa de las estrellas que componen el sistema. Precisamente a partir de la observación de las estrellas binarias fue posible calcular la masa de las estrellas componentes y relacionar la masa de una estrella con su luminosidad. Este estudio fundamental llevó al descubrimiento de una de las relaciones básicas de la astrofísica estelar: la llamada relación masa-luminosidad, según la cual la luminosidad es proporcional a $M^{10/3}$.

Además, el descubrimiento y el análisis de las variaciones de luminosidad de las estrellas que orbitan en torno a estrellas de neutrones han permitido literalmente «medir» la masa de estas últimas. Se trata de una contribución esencial al desarrollo de la teoría de este tipo particular de estrellas.

En definitiva, se puede decir que los sistemas binarios son los únicos objetos celestes de los que se puede determinar la masa sin recurrir a hipótesis que vayan más allá del estudio de su movimiento orbital tal como se manifiesta a través de estudios fotométricos y espectroscópicos.

VARIABILIDAD A OTRAS LONGITUDES DE ONDA

Cuando se habla de estrellas variables, generalmente se hace referencia a la variabilidad que una estrella presenta en la banda visible del espectro. Sin embargo, hay otras estrellas, como las de neutrones, que se observan con más facilidad en otras bandas del espectro electromagnético.

Los radiopúlsares y los púlsares X son estrellas de neutrones que envían, respectivamente, impulsos de radioondas y de rayos X, lo cual significa que estas estrellas se nos presentan como fuentes de radiaciones variables con el tiempo. En general, por tanto, cualquier fuente variable puede suministrar valiosas informaciones sobre el tipo de objeto, sobre su estructura y sobre sus características; basta estudiar su variabilidad y la curva de luz a cualquier longitud de onda de observación.

LA BALLENA

La Ballena, relacionada también con el mito de Andrómeda, representa el monstruo marino al que debía sacrificarse la hermosa joven.



La constelación de la Ballena, como otras que tienen que ver con el agua y con los seres que viven en ella, está situada en una región del cielo conocida como «las aguas celestes», cuya aparición indicaba antiguamente el comienzo de la estación lluviosa.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

La recta que une Beta *Andromedae* y Alfa *Arietis* nos lleva en dirección sureste a Alfa *Ceti*, una de las estrellas brillantes de la Ballena. Su distancia angular a Alfa *Arietis* es casi igual a la de esta última a Beta *Andromedae*.

ESTRELLAS NOTABLES

Alfa (magnitud 2,5), o Menkar, la nariz del monstruo marino, es una estrella con una compañera de magnitud 5,6 cuyo color, visto con unos simples prismáticos, contrasta fuertemente con el de la primera: mientras que la principal es roja, la secundaria es azul. No obstante, las dos estrellas, muy lejanas entre sí, forman un sistema puramente aparente, ya que ningún vínculo gravitacional las mantiene unidas.

La estrella más brillante es Beta, o Deneb Kaitos, que corresponde a la cola de la Ballena; su magnitud es igual a 2.

Una bella estrella doble es Gamma, formada por un par de astros de color amarillo (magnitud 3,7) y azul (magnitud 6,4). Para su observación hacen falta telescopios de abertura superior a los 6 cm y grandes aumentos.

Pero el objeto más importante de la constelación es Omicron, más conocida como Mira, o Maravillosa, un nombre realmente muy apropiado. En efecto, esta estrella constituyó durante largo tiempo un misterio por su extraño comportamiento: algunos astrónomos la habían señalado en sus mapas pero otros no la mencionaban. Un astrónomo del siglo XVII, Holward, descubrió que se trataba de una estrella variable que en 331 días pasa de magnitud 2 a magnitud 10 y desaparece de la vista. Mira *Ceti* se convertía así en el prototipo de una clase de variables caracterizadas por amplias variaciones de luminosidad en períodos de tiempo del orden de cientos de días. Se trata de estrellas gigantes de baja temperatura superficial que pulsan, variando de tamaño de un modo casi regular. Mira se encuentra en una posición bastante favorable para la observación, pues se halla pocos grados al sur del ecuador celeste, por lo que puede observarse desde prácticamente todos los puntos de la superficie terrestre.

Otra estrella digna de mención, aunque invisible a simple vista, es UV, otra variable, también prototipo de una clase de astros de luminosidad no constante. Es una componente de un par de estrellas rojas de tamaño mínimo, y menos de una décima parte de la masa solar entre las dos. Estas dos estrellas están muy cerca de nosotros (sólo a 9 años luz) y una de ellas es objeto de fulguraciones que la llevan en muy pocos minutos de la decimotercera magnitud a la séptima. En el Sol se producen fulguraciones de bastante menor entidad. Entre los objetos más importantes de la Ballena figura M77, una galaxia espiral próxima a la estrella Delta; posee un núcleo luminoso con rayas de emisión, indicio de la liberación de grandes cantidades de energía.



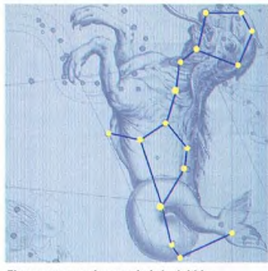
M77 es una galaxia que dista de nosotros unos 50 millones de años luz.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

LA BALLENA

La Ballena es el mítico monstruo marino que Poseidón, el dios del mar, envió para que devorase a Andrómeda, la bella hija de Casiopea, a fin de castigar la vanidad de ésta. Según la leyenda, el monstruo marino tenía el cuerpo cubierto de escamas, cola de serpiente marina y patas en la parte anterior.

A Perseo le costó mucho trabajo matar a esta horrible criatura, ya que tuvo que introducir varias veces su espada en el cuerpo escamoso del monstruo. Al fin logró vencerla y liberar a Andrómeda, que se convertiría más tarde en su esposa. Según otra leyenda, la tarea de Perseo fue mucho más sencilla, ya que el héroe petrificó al monstruo mostrándole la cabeza de la Medusa.



El monstruo marino que habría debido devorar a Andrómeda, situado en el cielo en la constelación de la Ballena, se parece muy poco, en las descripciones de la época clásica, al cetáceo que evoca el nombre de esta constelación.

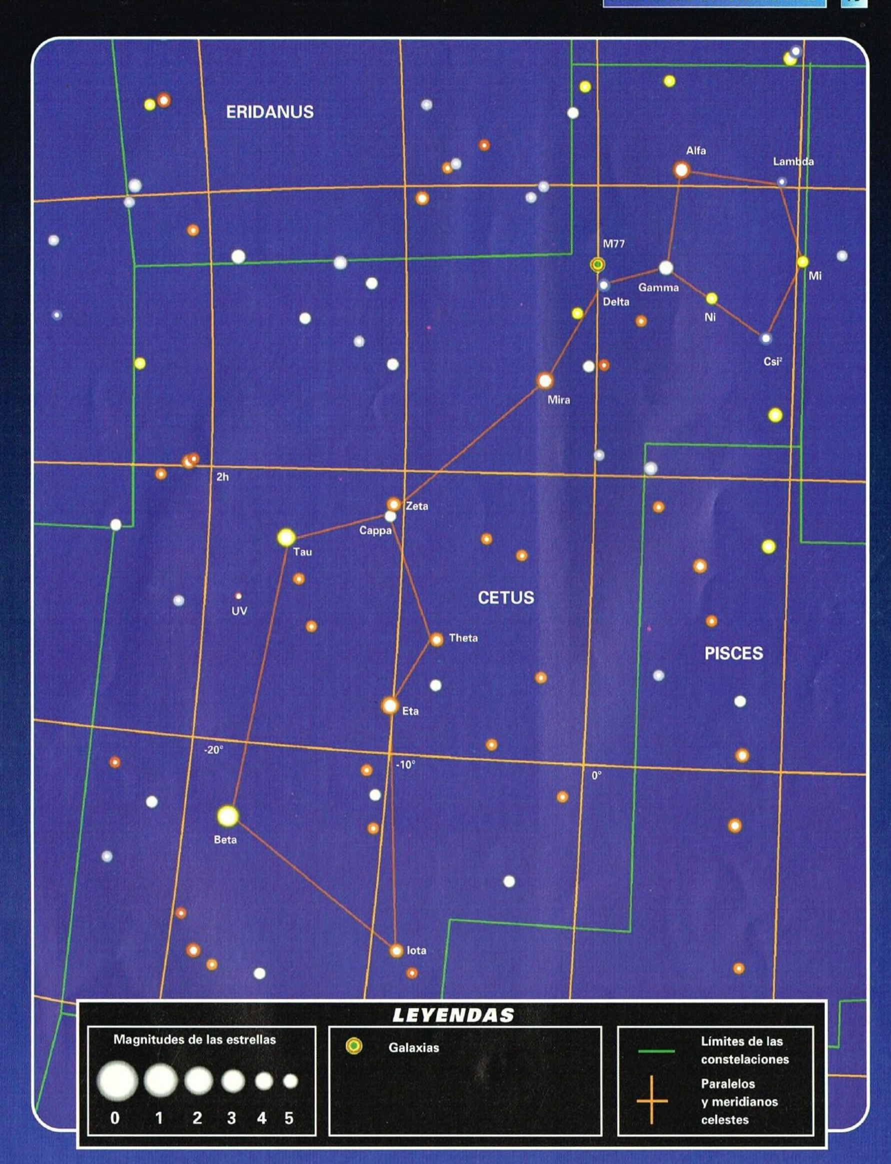
DÓNDE BUSCARLA

LA BALLENA

La constelación de la Ballena abarca una extensa porción del cielo, comprendida entre 23 horas 55 minutos y 3 horas 20 minutos de ascensión recta, y –25 y 10° de declinación. Limita con las constelaciones de Aries, Tauro, Piscis, Acuario, Eridano, Escultor y Horno.

Este grupo contiene una de las estrellas más fascinantes del cielo: Mira *Ceti*, una supergigante más de 400 veces mayor que el Sol, de color rojo oscuro y con magnitud variable.

Otras estrellas importantes son Menkar (α *Ceti*), Deneb Kaitos (β *Ceti*) y γ *Ceti*.


ERIDANUS
Alfa
Lambda
M77
Gamma
Delta
Ni
Mi
Csi²
Mira
2h
Zeta
Cappa
Tau
UV
CETUS
Theta
PISCES
Eta
-20°
-10°
0°
Beta
Iota
LEYENDAS
Magnitudes de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Galaxias
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LA MEDIDA DEL ESPACIO Y DEL TIEMPO

Todas las disciplinas científicas se basan en medidas que requieren unidades de referencia. La astronomía, sobre todo en el pasado, ha tenido un papel fundamental en la definición del espacio y del tiempo.



Decir de una estrella que se encuentra a 100 años luz de nosotros implica una serie de consideraciones que generalmente se dan por sentadas. Contrariamente a lo que cabría pensar, el año luz es una unidad de medida del espacio, no del tiempo. Se trata de la distancia recorrida en un año por un rayo de luz que se propaga en el vacío a la velocidad de 299.792,458 km/s. Esta velocidad es fija e insuperable y constituye una de las constantes fundamentales de la física moderna. Existe una disciplina específica, llamada metrología, que se ocupa de la definición de las unidades de medida adoptadas para las magnitudes físicas, de la elección de las unidades fundamentales (adoptadas universalmente) y de la realización, la difusión y la conservación de los prototipos de tales unidades. Para los científicos es muy importante disponer de unidades de medida comunes, precisas y estables con las cuales comparar los propios resultados en momentos distintos y con colegas extranjeros de países de distintas tradiciones.

Asimismo, las unidades de medida son de gran trascendencia para la vida cotidiana, en las relaciones sociales y comerciales. Téngase en cuenta que, a comienzos del presente siglo, en numerosos países se utilizaba un gran número de unidades de superficie, mientras que en la actualidad sólo está universalmente aceptado el metro cuadrado.

LA ELECCIÓN DE LAS UNIDADES DE MEDIDA

Históricamente, la astronomía ha desempeñado un papel fundamental en la

Abajo, el Observatorio de Greenwich, cerca de Londres. En él tiene su origen el sistema de meridianos terrestres.

elección de las unidades de medida de las magnitudes físicas principales: el espacio y el tiempo. Cuando no existían los ordenadores, los relojes atómicos y todos los instrumentos modernos que la tecnología pone hoy a disposición de cualquiera, los fenómenos de referencia eran los astronómicos, que tenían la propiedad de ser periódicos.

Por ejemplo, para establecer una unidad de medida del tiempo, pareció natural tomar en consideración los movimientos de la Tierra, que tienen lugar con regularidad, a un ritmo que en una primera aproximación siempre es el mismo. El segundo, por tanto, se definió como 1/86.400 del período de rotación de la Tierra sobre su propio eje. El número 86.400 es el número de segundos contenidos en un día (60 segundos cada minuto, multiplicados por 60 minutos cada hora, multiplicados a su vez por las 24 horas que tiene el día). En 1955, cuando se advirtió que esta definición no era muy precisa, porque no todos los días tienen exactamente la misma duración (y, en particular, tienden a ser cada vez más largos), la Unión Astronómica Internacional definió el segundo como 1/31.556.925,9747 del año trópico 1900,0.

Abajo, el famoso reloj astronómico que se encuentra en el Ayuntamiento de Praga. En siglos pasados, hábiles artesanos construyeron refinados relojes astronómicos capaces de medir múltiples fenómenos celestes.



Retrato de lord Kelvin. La escala de temperaturas que ha tomado su nombre se utiliza universalmente en física y astronomía.

En los últimos decenios, la introducción de la tecnología electrónica y el consiguiente desarrollo de los instrumentos de medida del tiempo han llevado una vez más a modificar la definición del segundo. La introducción de los relojes atómicos (en particular el de alta precisión de cesio, en 1955), basados en las oscilaciones de algunos átomos como el cromo y el cesio, ha permitido alcanzar precisiones extraordinarias. La definición actual del segundo, introducida en 1967, se basa en un reloj atómico de cesio y alcanza una precisión de una diezmilmillonésima.

EL METRO Y LOS MERIDIANOS TERRESTRES

También la definición de la unidad de medida de longitudes, el metro, ha sufrido



Reloj de sol en la llamada «Terraza de las estrellas», en Crespano del Grappa (Italia). Los relojes solares siguen siendo útiles porque prescinden de las convenciones relativas a la hora civil.

numerosas modificaciones. El metro constituye la unidad de medida por antonomasia, pues el significado de este término de origen griego es precisamente «medida» o «medidor».

En un principio, el metro se definió como la diezmillonésima parte de la longitud de la parte del meridiano terrestre comprendida entre el ecuador y el polo Norte pasando por París. Hay que recordar que precisamente en Francia, en el último decenio del siglo XVIII, se había adoptado legalmente el sistema métrico. Un grupo de científicos había medido una porción de aquel meridiano y, en el supuesto de que la Tierra era perfectamente esférica, había determinado la unidad de medida buscada. El ulterior descubrimiento de que el supuesto era falso, pues la Tierra tiene una forma mucho más compleja, condujo a la necesidad de redefinir el metro. En la nueva definición, el metro era la distancia comprendida entre dos marcas de una barra de platino iridiado conservada en el Museo de Sèvres, en París. Esta aleación metálica tiene la peculiaridad de ser casi totalmente insensible a las variaciones de temperatura: no se dilata con el calor, como hacen generalmente los metales, y no se contrae con las bajas temperaturas. El metro patrón, conservado con la mayor precaución, fue duplicado con mucha precisión y cada país pudo disponer del suyo propio, que pasó a ser el prototipo nacional de longitud.

Pero la historia no acaba aquí. Obviamente, la precisión requerida por los científicos no permitía basarse en una barra de metal, que fue abandonada en 1960 en favor de una definición más científica, según la cual el metro era igual a 1.650.763 longitudes de onda en el vacío de la raya anaranjada emitida por una fuente de kriptón-86. Por último, en 1983, se introdujo la definición actualmente vigente, según la cual el metro es la distancia recorrida por un rayo de luz en una fracción 1/299.792.458 de segundo.

LAS UNIDADES DE LONGITUD DEL SISTEMA ANGLOSAJÓN

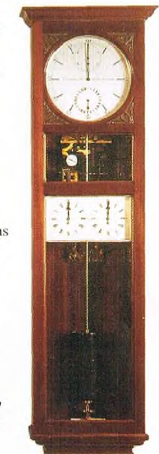
1 pulgada = 2,54 cm
1 pie = 30,47 cm
1 yarda = 0,914 m
1 milla = 1,609 km

LA TEMPERATURA

Esta magnitud física tiene como unidad el grado, pese a que éste se representa de distintas maneras en diferentes escalas. La definición adoptada hoy, establecida en 1960, se refiere a una propiedad del agua y dice que el grado es la centésima parte del intervalo de temperatura entre el punto de fusión del hielo y el punto de ebullición del agua. El cero, sin embargo, se sitúa a –273,16 grados de la escala Celsius, que toma su nombre del físico sueco del siglo XVIII Anders Celsius, el primero en dividir la escala de temperatura en cien partes, y de ahí el nombre de escala centígrada. Esta temperatura (–273,16 °C) se llama cero absoluto y corresponde al inicio de la escala Kelvin.

El cero absoluto tiene un importante significado físico, pues es la más baja temperatura alcanzable en la naturaleza: es imposible enfriar un cuerpo por debajo de ella.

Los grados kelvin son muy utilizados en astronomía, por ejemplo para indicar la temperatura de las estrellas. Si no se dice lo contrario,



Reloj antiguo, que se conserva en el Observatorio de Greenwich. Como bien saben los navegantes, las medidas del tiempo y del espacio están estrechamente relacionadas.

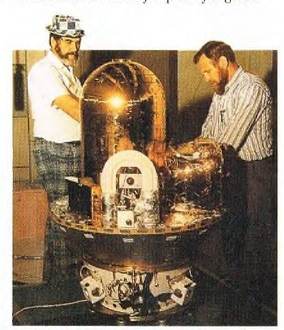
se sobrentiende que las temperaturas en este campo se refieren siempre a dicha escala.

UNA CONVENCIÓN MUNDIAL

El conjunto de las unidades de medida fundamentales fue establecido por primera vez a nivel internacional en 1875, cuando 17 países firmaron la Convención del metro, por la que se comprometían a utilizar esta unidad, así como sus múltiplos y submúltiplos decimales, para la medida de longitudes. En aquella sede nació la Conferencia General de Pesos y Medidas (CGPM), el organismo internacional de la metrología. En el siglo siguiente, se adoptaron otras unidades fundamentales para la medida de otras magnitudes físicas, y se llegó hasta un total de nueve, incluidas en el llamado Sistema Internacional.

Es curioso conocer la evolución de otras unidades de medida como, por ejemplo, el kilogramo, la unidad de medida de la masa que contiene un cuerpo. En un principio, esta unidad se definió como la masa de un decímetro cúbico de agua pura a la temperatura de 4 °C. Para ello se construyó un cilindro de material sólido que fuera exactamente equivalente a esta cantidad. Pero más tarde se descubrió que no era posible obtener una cantidad de agua pura y estable con la precisión requerida. El patrón fue sustituido entonces por un cilindro de platino iridiado de igual masa, que todavía hoy se utiliza para definir el kilogramo en el Sistema Internacional.

Todavía hay países en los que cuesta incorporar las convenciones internacionales a los usos prácticos. En los países anglosajones siguen utilizándose ampliamente la pulgada y la milla para las medidas de distancia y la pinta y el galón para las de volumen. Bien lo saben los aficionados a la astronomía, que a menudo encuentran las dimensiones de los espejos de los telescopios expresadas en pulgadas; el 5 m de Monte Palomar todavía se conoce como el «200 pulgadas Hale», lo mismo que se habla del «100 pulgadas Hooker» de Monte Wilson. Aunque Gran Bretaña inició en 1965 los esfuerzos para pasar al sistema métrico, todavía no se ha adoptado en la vida cotidiana. Lo mismo cabe decir de Estados Unidos, donde el 23 de diciembre de 1975 el presidente Gerald Ford firmó la Metric Conversion Act.



La alta precisión en la medida del tiempo que exigen los científicos sólo se consigue con relojes atómicos, como el de la figura.

LAS UNIDADES DE MEDIDA DEL SISTEMA INTERNACIONAL

El llamado Sistema Internacional (SI) es el conjunto de las unidades de medida de las magnitudes físicas fundamentales, así como de sus múltiplos y submúltiplos decimales. Las unidades en vigor fueron establecidas en la XI Conferencia Internacional de Pesos y Medidas de 1960 y modificadas en 1971 y 1983. Las magnitudes físicas fundamentales son nueve: longitud, masa, tiempo, intensidad de corriente eléctrica, temperatura, cantidad de materia, luminosidad, ángulo plano y ángulo sólido. Con éstas se pueden construir las demás: por ejemplo, la velocidad se define como el cociente entre el espacio y el tiempo. Las correspondientes unidades de medida se definen en la tabla siguiente.

metro: trayecto recorrido por la luz en el vacío durante un tiempo de 1/299.792.458 de segundo;

kilogramo: masa del patrón de platino iridiado que se conserva en el Museo de Sèvres;

segundo: duración de 9.192.631.770 oscilaciones de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133;

amperio: intensidad de una corriente constante que, al circular por dos hilos conductores rectilíneos y paralelos, de longitud infinita y sección despreciable, situados a una distancia de un metro uno del otro en el vacío, produciría entre estos conductores una atracción o repulsión igual a 2×10^{-7} newton por metro de longitud;

kelvin: fracción 1/273,16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua;

mol: cantidad de materia de una sustancia que contiene tantas entidades elementales (átomos o moléculas) como átomos hay en 0,012 kg de carbono 12; este número corresponde al número de Avogadro ($6{,}022 \times 10^{23}$);

candela: intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz y cuya intensidad energética en dicha dirección es de 1/683 vatios por estereorradián.

A estas unidades hay que añadir otras dos, el radián y el estereorradián, que sirven para medir, respectivamente, ángulos planos y ángulos sólidos.

MEDIDAS ASTRONÓMICAS

Como en todas las ciencias, también en astronomía las medidas tienen una importancia fundamental. Los astrónomos obtienen informaciones sobre los cuerpos celestes mediante unos instrumentos de medida especiales, los fotómetros y los espectrómetros, que permiten determinar las características físicas (luminosidad, composición química, temperatura) de estrellas y galaxias. Sus resultados se expresan en las unidades usuales, aunque a veces se inventan unidades especiales, como el parsec o el año luz.



Las dimensiones y los movimientos de nuestro planeta han sido los primeros puntos de referencia para medir el espacio y el tiempo.

LOS SATÉLITES DE ASTRONOMÍA GAMMA

Los cuerpos celestes revelan su existencia, principalmente, en forma de radiación electromagnética. Un caso particular lo constituyen los rayos gamma. La detección y el estudio de los rayos gamma emitidos por los cuerpos celestes es una tarea que permite observar algunos de los objetos astrofísicos más fascinantes.



El estudio del cielo en la banda de los rayos gamma constituye un área de investigación más bien reciente.

La atmósfera de nuestro planeta funciona como un escudo con respecto a las radiaciones electromagnéticas de alta energía, como los rayos ultravioletas, X y gamma. Para realizar observaciones a estas energías ha sido necesario esperar a que los progresos de la astronáutica permitieran a los astrónomos llevar los oportunos instrumentos a bordo de satélites. En algunos casos, sin embargo, las observaciones pueden realizarlas globos orbitales, situados a unos 40 km de altura, donde la transparencia de la atmósfera llega al 99%.

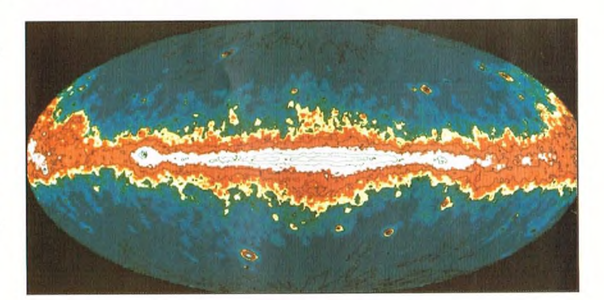
Se trata de una solución que requiere inversiones económicas modestas y una tecnología no demasiado sofisticada, pero que también es de corta duración, unos treinta días en el mejor de los casos.

¿QUÉ SON LOS RAYOS GAMMA?

Existen en la naturaleza varios tipos de radiaciones que se distinguen por el valor de la longitud de onda (o de la frecuencia). Los rayos gamma consisten en radiación electromagnética de longitud de onda más de 10.000 veces más corta que la de la luz visible. Dado que la energía transportada por cada fotón (la energía de la radiación está distribuida en paquetes llamados fotones) es inversamente proporcional a su longitud de onda, los rayos gamma son también 10.000 veces más energéticos que los fotones de luz visible. Existen varios mecanismos que producen rayos gamma.

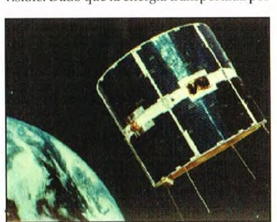
Colisiones nucleares. Cuando los protones o núcleos de alta energía presentes en el espacio cósmico chocan con núcleos atómicos, se producen partículas elementales (piones) altamente inestables que se desintegran emitiendo rayos gamma.

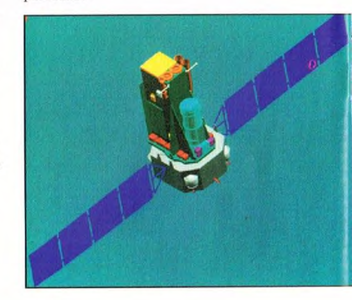
Procesos de aniquilación materia-antimateria. Estos procesos se producen cuando, por ejemplo, entran en contacto un electrón y un positrón (partícula elemental idéntica al electrón pero de carga eléctrica positiva en vez de negativa). En tal caso, las dos partículas desaparecen y la energía ligada a su masa (igual a mc^2, donde m es la masa de las dos partículas y c la velocidad de la luz) se libera en forma de rayos gamma.



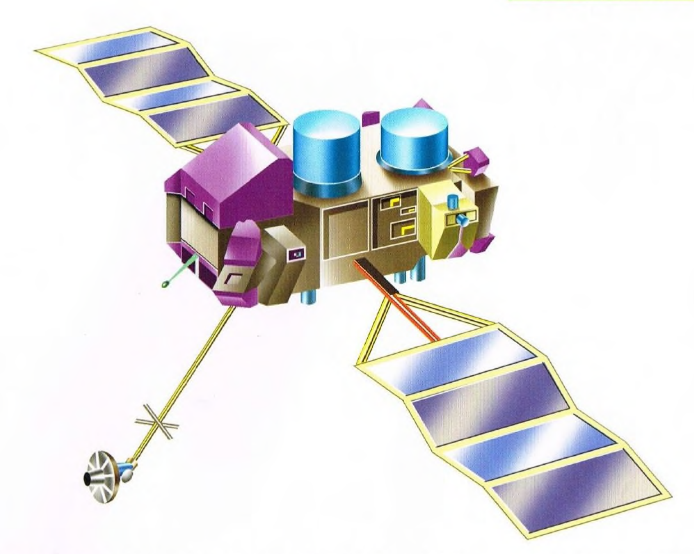
El primer mapa del cielo tomado con rayos gamma, basado en datos obtenidos por el satélite EGRET.

Aceleración de partículas cargadas. Las partículas cargadas (electrones, positrones) en movimiento en un campo electromagnético tienden a emitir una radiación electromagnética, cuya energía depende tanto de la intensidad del campo magnético como de la velocidad de las partículas.





A la izquierda, fotomontaje del satélite COS-B en órbita alrededor de la Tierra. A la derecha, diseño del futuro satélite INTEGRAL (INTErnational Gamma Ray Astronomical Laboratory).



Esquema del Compton Gamma Ray Observatory (GRO), un sofisticado satélite dedicado a la observación del universo a altas energías.

Transiciones entre niveles nucleares. Están producidas por la excitación de núcleos inducida por capturas de neutrones, por colisiones o por desintegración nuclear.

LOS PRIMEROS SATÉLITES Y LAS MISIONES MÁS IMPORTANTES

Naturalmente, los instrumentos ideales son los satélites, porque garantizan una vida operativa mucho más larga. Este aspecto es fundamental, ya que las fuentes celestes de rayos gamma son mucho más parcas en fotones y por lo tanto se necesitan tiempos de observación mucho más largos para poder recoger un número adecuado.

Las primeras misiones espaciales dedicadas al estudio de los rayos gamma procedentes de fuentes celestes tuvieron lugar a comienzos de los años sesenta. El primer telescopio (aunque, como veremos, la denominación es inapropiada) de rayos gamma fue puesto en órbita en 1961 a bordo del satélite EXPLORER-11. En el curso de su breve vida, los instrumentos lograron detectar menos de un centenar de fotones gamma procedentes de direcciones no muy bien definidas del espacio. Se trataba de un número ciertamente exiguo para realizar una investigación científica seria, pero suficiente para demostrar la existencia de fuentes de rayos gamma en el espacio.

El primer satélite exclusivamente dedicado a la investigación astronómica en la banda gamma fue el SAS-2 (Small Astronomical Satellite) de la NASA, puesto en órbita en 1972. Por desgracia, debido a un problema de la electrónica de a bordo, la vida operativa del SAS-2 fue más bien breve, de sólo siete meses.

En 1975, la Agencia Espacial Europea (ESA) lanzó el satélite COS-B, que permaneció en órbita hasta 1982, superando así las más optimistas previsiones iniciales. En el curso de esta misión, 64 observaciones detectaron fuentes puntiformes y la emisión gamma difusa de nuestra Galaxia. Estos dos satélites, SAS-2 y COS-B, fueron los primeros en obtener resultados de una cierta relevancia científica, que convencieron a la NASA, a la ESA y a la Agencia Espacial Soviética de que la astronomía de rayos gamma constituía un campo que valía la pena explorar con tenacidad.

Desde los tiempos del satélite EXPLORER-11, la sensibilidad de los instrumentos ha aumentado varios miles

LAS MISIONES GAMMA

SATÉLITES	LANZAMIENTO	DURACIÓN
EXPLORER-11 (EE UU)	1961	6 meses
OSO-3 (EE UU)	1967	2 años y 9 meses
SAS-2 (EE UU)	1972	7 meses
COS-B (EUROPA)	1975	7 años
HEAO-3 (EE UU)	1979	1 año y 8 meses
SMM (EE UU)	1980	9 años y 8 meses
GAMMA (URSS)	1990	2 años
GRO (EE UU)	1991	en órbita

Algunas de las más importantes misiones de astronomía gamma puestas en órbita en los últimos 40 años. En algunos casos, se han instalado también detectores de rayos gamma a bordo de sondas y satélites espaciales destinados básicamente a otras tareas. Es el caso, por ejemplo, del Skylab y de las sondas soviéticas Prognoz y Phobos.

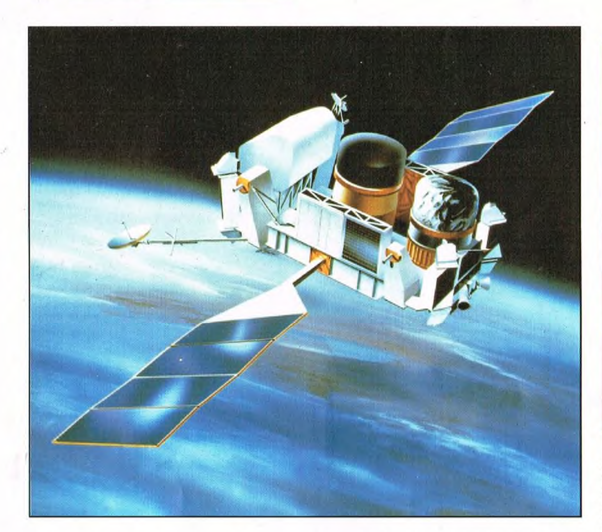


Imagen pictórica del GRO en órbita alrededor de la Tierra. Este satélite fue puesto en órbita por el transbordador espacial el 5 de abril de 1991.

PERSONAJES

ARTHUR COMPTON 1892-1962

Arthur Holly Compton, a quien fue dedicado el satélite GRO de la NASA, merece un destacado lugar en la historia de la física de altas energías, de la que fue uno de los indiscutibles pioneros.
En 1927, sus estudios sobre colisiones entre electrones y fotones de alta energía llevaron al descubrimiento del llamado efecto Compton y le valieron el premio Nobel de Física. El descubrimiento de este efecto fue uno de los hitos en la comprensión de la interacción entre la materia y la radiación de alta energía y en la confirmación de que, como sostenían los físicos teóricos de la época, la radiación electromagnética posee propiedades ondulatorias y corpusculares.

de veces. El satélite más moderno de astronomía gamma actualmente operativo es el Gamma Ray Observatory (GRO) de la NASA, puesto en órbita por el transbordador espacial Atlantis en abril de 1991 y rebautizado con el nombre del físico estadounidense Arthur Compton. Hasta el momento, el GRO es el satélite más completo, pues lleva a bordo cuatro instrumentos distintos que operan a energías diferentes y tienen objetivos científicos también distintos.

LA DETECCIÓN DE LOS RAYOS GAMMA

Detectar directamente los rayos gamma es prácticamente imposible, porque su longitud de onda es del mismo orden de magnitud de las dimensiones interatómicas o intermoleculares de cualquier sustancia sólida, lo que los lleva a interactuar con los cuerpos que interceptan. Por ello, dichos rayos se detectan indirectamente por medio de instrumentos que dependen de la energía.

Para los fotones de más baja energía se utilizan unas sustancias químicas llamadas centelleadores, materiales de tipo yoduro de cesio o yoduro de sodio, que emiten una chispa luminosa cada vez que son atravesadas por un fotón gamma. Luego, esta luz la recogen unos instrumentos especiales, llamados fotomultiplicadores, que la amplifican y la transforman en una señal eléctrica fácilmente registrable. De manera semejante funcionan los detectores que utilizan materiales semiconductores, como, por ejemplo, el germanio.

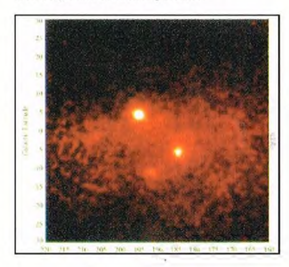
En el caso de fotones de energía más elevada, se recurre a fenómenos distintos. El fotón incide sobre un detector formado por capas de material de elevado número atómico (por ejemplo, el plomo), entre las que se intercalan capas gaseosas. Al atravesar el material, el fotón interactúa con los núcleos y se materializa (el proceso inverso de la aniquilación), formando un par partícula-antipartícula (electrón y positrón).

Éstos, al atravesar el gas interpuesto entre las diversas capas, producen una chispa que es detectada por instrumentos de lectura. Las trazas dejadas por las chispas permiten determinar la dirección de las dos partículas y por tanto la dirección de llegada del rayo gamma.

EL PROBLEMA DE LOS DETECTORES GAMMA

Uno de los problemas fundamentales de la astronomía gamma consiste en identificar con precisión aceptable la posición de la fuente emisora. Complican la operación la naturaleza intrínseca de los rayos gamma y el proceso mismo de detección. En la práctica, la incertidumbre con la cual se puede identificar en el cielo una fuente de rayos gamma suele ser del orden de una fracción de grado. En comparación, basta pensar que observando en la región visible con los instrumentos más modernos, como el telescopio espacial Hubble, se puede determinar la posición de un cuerpo celeste con una precisión 300.000 veces mayor. El problema es de enorme importancia cuando se quiere escrutar el cielo en busca del cuerpo causante de la emisión de rayos gamma. El número de estrellas y galaxias que pueden caer en un intervalo de una fracción de grado es más bien elevado. Según la región del cielo observada, puede ser del orden de varios cientos. En estas condiciones, identificar el objeto es como buscar una aguja en un pajar.

Imagen de la fuente gamma Geminga (arriba) y de la Nebulosa del Cangrejo (abajo). Ambas fuentes gamma contienen púlsares.





EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

LOS COMETAS

ESTRELLAS Y GALAXIAS

MOVIMIENTOS EN LA VÍA LÁCTEA

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

FÉNIX

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

LA SONDA CASSINI

EL USO DEL ESPACIO

SATÉLITES PARA TELECOMUNICACIONES

KONUS™

LOS SUPER TELESCOPIOS *En las tiendas de Foto Optica*

- *2000 Puntos de venta en toda España*
- *Extensa gama de instrumentos para la astronomía*
- *Asistencia técnica previa y posterior venta*
- *Garantia internacional*
- *2 Manuales para su uso*

KONUS ES UN NOMBRE COMERCIAL DE KONUS ITALIA S.r.l.



Cuando adquieras un telescopio, es necesario haber sido asesorado; las tiendas de foto-óptica y nuestra Oficina están a tu disposición. Los dos manuales gratuitos te dan toda la información que necesitas para su uso. Verifica que el telescopio que has recibido tenga la marca y la garantia Konus. Para obtener la lista de vendedores más cercanos, o para cualquier información sobre nuestros productos, llama al número 91-6778663.



KONUS ESPAÑA S.L. - C/Caucho, 53 - 28850 TORREJON DE ARDOZ (MADRID)
Tel 91-6778663. - Fax 91-6778538

KONUSPACE-910 Ø90mm F.910 f/10,1

cod. 1748 **REFRACTOR ECUATORIAL**

CARACTERISTICAS TECNICAS: Optica entubada y colimada con objetivo acromático multitratado; montura ecuatorial motorizable en ambos ejes; trípode en aluminio de dos secciones (de 77 a 130 cm.) ACCESORIOS EN DOTACION: Dos oculares Ø31,8 mm. K10 (91x) y K25 (36x); buscador 6x30 con objetivo acromático; prisma astronómico 90°; filtro lunar; dos manuales de instrucciones.

con 2 Oculares

KONUSCOPE- 45 Ø 114 mm F.910 f/8

cod. 1756 **EL MAS COMPLETO TELESCOPIO NEWTONIANO**

CARACTERISTICAS TECNICAS: Optica multitratada, entubada y colimada; nueva montura ecuatorial "Polar System", motorizable en ambos ejes; trípode de aluminio de dos secciones (de 67 a 107 cm.) ACCESORIOS EN DOTACION: Dos oculares Ø31,8mm. Plössl 10 (91x) y Plössl 25 (36x); buscador 6x30; catalejo polar 6x20; dos manuales de instrucciones.

con 2 Oculares

KONUSCOPE-150 Ø150mm F.900 mm. f/6

cod. 1764 **REFLECTOR NEWTONIANO CON CATALEJO POLAR**

CARACTERISTICAS TECNICAS: Optica entubada y colimada con espejo en "SUPRAX" cuarzado y multitratado; tubo en metal; nueva montura ecuatorial "Polar System", motorizable en ambos ejes; trípode en aluminio de dos secciones (de 67 a 107 cm.). ACCESORIOS EN DOTACION: Dos oculares Ø31,8mm. K9 (100x) y K25 (36x); buscador 6x30 con objetivo acromático; enfoque eléctrico; catalejo polar 6x20; dos manuales de instrucciones.

con enfoque electrico

KONUSCOPE 200 Ø 200mm F. 1200 f/16

cod. 1767 **REFLECTOR NEWTONIANO DE ALTA LUMINOSIDAD**

CARACTERISTICAS TECNICAS: Optica entubada y colimada, con espejo en Suprax cuarzado y multitratado; nueva montura ecuatorial "Polar System", motorizable en ambos ejes ; trípode en aluminio de do s secciones (de 67 a 107 cm.) ACCESORIOS EN DOTACION: Dos oculares Ø31,8mm. K9 (130x) y K25 (48x); buscador 6x30 con objetivo acromático; enfoque eléctrico; catalejo polar 6x20; dos manuales de instrucciones.

con enfoque electrico

KONUSCOPE 250 Ø250mm F.1200 f/4,8

cod. 1769 **EL MAS POTENTE REFLECTOR NEWTONIANO**

CARACTERISTICAS TECNICAS: Optica entubada y colimada con espejo en Suprax cuarzado y multitratado; nueva montura ecuatorial "Polar System", motorizable en ambos ejes; trípode en aluminio de dos secciones (de 67 a 107 cm.) ACCESORIOS EN DOTACION: Dos oculares Ø31,8mm. K9 (130x) y K25 (48x); buscador 6x30 con objetivo acromático; enfoque electrico; catalejo polar 6x20; dos manuales de instrucciones.

con enfoque electrico

SIMPLEX Ø90mm. F.500 F/5,5

cod. 7031 **MAKSUTOV-CASSEGRAIN**

CARACTERISTICAS TECNICAS: Catadióptico tipo Maksutov-Cassegrain, óptica multitrattada, entubada y colimada. ACCESORIOS EN DOTACION: Ocular Ø31,8mm Plossl 17 (29x); enganche para trípode; prisma inversor a 45°; bolsa e instrucciones.

con bolsa a bandolera

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

37



9 788439 554219
00037

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

LOS COMETAS

La aparición de cometas siempre ha sido objeto de admiración y de temor. Sólo en tiempos recientes, estos cuerpos celestes han sido observados de cerca y estudiados de manera más detallada.

Los cometas se conocen desde los albores de la civilización. Lo súbito de su aparición en el cielo y la espectacularidad de sus colas luminosas les habían dado, entre los pueblos antiguos, fama de ser portadores de desgracias. El hecho de que, aparentemente, surgieran sin aviso previo en medio de las estrellas fijas y que algunos fueran visibles de día hacía que se consideraran como expresión de la cólera de los dioses contra los hombres.

Durante el Renacimiento, gracias a Tycho Brahe, los cometas pasaron a la categoría de objetos celestes. Kepler descubrió que sus movimientos eran precisos y regulares, y Newton llegó a la conclusión de que tenían una órbita parecida a una elipse o una parábola.

El primer cometa cuya órbita se calculó con precisión –lo que permitió prever su retorno– fue el cometa Halley (su nombre es el del astrónomo que en 1682 se dio cuenta de que era el mismo cometa que había aparecido en 1531 y 1607 y calculó por primera vez su periodicidad).

¿QUÉ SON?

Los cometas son cuerpos formados por una cabeza, que incluye un pequeño núcleo rodeado de una cabellera luminosa de gases. Sin embargo, la característica más peculiar de estos objetos es la presencia, en la parte de su órbita más próxima al Sol, de una larga cola, que a menudo se prolonga a gran distancia y que está orientada en dirección opuesta al Sol.

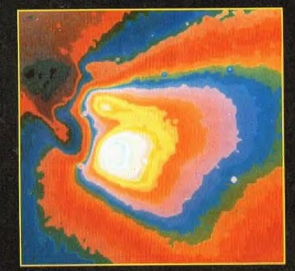
Nuestro astro se halla inmerso en los restos de la nebulosa protosolar (el disco de gases y polvo del que se formaron el Sol y los planetas), que contiene también muchos cuerpos pequeños, esparcidos entre las órbitas de los planetas –los asteroides– o situados mucho más allá del planeta más lejano: son los cometas. En una órbita comprendida entre 30.000 y 50.000 unidades astronómicas (una unidad astronómica, u.a., es la distancia media entre la Tierra y el Sol), hay una cantidad enorme de estos pequeños objetos rocosos, que tienen un diámetro de unos pocos kilómetros y forma muy irregular, y cuyo interior es rico en componentes gaseosos y hielo.

Las perturbaciones gravitatorias planetarias, y quizá también las de las estrellas más próximas, obligan a algunos cometas a modificar su órbita, lo que los lleva a las regiones de los planetas mayores, donde se hacen visibles.

LA NUBE DE OORT

El astrofísico holandés Jan Oort (1900-1992) sugirió por primera vez la existencia de esta «nube» de cometas en los confines de nuestro sistema solar. A estas distancias del Sol, la temperatura está próxima al cero absoluto, lo que ha dado lugar a la presencia en estos cuerpos de monóxido de carbono, metano y azufre en forma molecular, unas sustancias que ya se hacen gaseosas a algunas decenas de kelvin.

Arriba, una imagen del cometa más conocido: el Halley.
Abajo, una imagen de la cabellera del cometa Halley vista en falsos colores para mostrar las diversas temperaturas.





Un cometa está formado por una cabellera y una cola que lo hacen muy visible.

Es muy probable que en el interior de la nube de Oort haya centenares de miles de millones de cometas, a pesar de que en las últimas décadas se ha sugerido también la existencia de una especie de «depósito» de cometas de período corto, consistente en una franja con unos mil millones de objetos situada más allá de la órbita de Neptuno. Esta franja lleva el nombre del astrónomo que la describió en 1951: Kuiper.

ÓRBITAS DIVERSAS

Cuando un cometa sufre perturbaciones y su órbita se modifica aproximándose al sistema solar interno, es capturado por la acción de la gravedad de los planetas, especialmente la del más grande de ellos: Júpiter.

Algunos cometas tienen una órbita hiperbólica que los empuja una sola vez a las proximidades del Sol para lanzarlos luego al espacio interestelar. En cambio, las órbitas de otros son elípticas, con una excentricidad más o menos acusada que los conduce una y otra vez a las cercanías del Sol. Estos cometas se denominan periódicos.

ESTRUCTURA DE UN COMETA

La presión de la radiación solar, pero sobre todo la del viento solar, empuja los materiales expulsados por el núcleo del cometa en dirección opuesta al Sol. Se forman dos colas: una rectilínea y azulada, constituida sólo por gases, y otra curvada, de color amarillo, que contiene polvo y gases.

Las flechas indican las dos direcciones de las colas.



ELEMENTOS QUÍMICOS DE LOS COMETAS

O	H	CH_3CN	Fe
OH	C	HCN	Ni
OH^+	C^+	C_3	Mn
H_2O	CH^+	C_2	Ca
H_2O^+	NH	S	Ca^+
CO_2	NH_2	CS	V
CO^+	N_2	silicatos	Na
CO	CN	Co	K
CH	CN^+	CU	

Reciben el nombre de cometas de período corto los que completan una revolución en un tiempo inferior a cien años. En general, estos cometas tienen una inclinación sobre la eclíptica bastante pequeña, con órbitas similares a las de los planetas.

Al igual que tantos otros cuerpos pequeños, un cometa es invisible cuando está lejos del Sol, pero, cada vez que se aproxima a las regiones internas, los rayos solares hacen sublimar parte del hielo de su núcleo que, junto con los gases emitidos, pasa a formar la cabellera. Después de algunos centenares de pasadas, es probable que un cometa de período corto haya agotado el material que lo forma porque se habrá evaporado. Entonces, queda reducido a un cuerpo oscuro y minúsculo como tantos otros.

Los materiales (polvo y gases) abandonados a lo largo de la estela del cometa pueden cruzar la órbita terrestre y, si atraviesan nuestra atmósfera, crean los enjambres de meteoros que pueden verse desde la superficie terrestre.

LA CABELLERA

Cuando el cometa se encuentra en las regiones más próximas al Sol, alrededor del núcleo se forma un halo de gases: es la cabellera o coma. Los primeros gases que se hacen volátiles son el monóxido de carbono y el dióxido de carbono, mientras que el hielo solamente se sublima en la franja entre Júpiter y Marte.

Dada la escasa gravedad del núcleo, los gases emitidos se dispersan en el espacio y son reemplazados continuamente por nuevo material. Sin embargo, la vaporización solamente ocurre en el lado del núcleo orientado hacia el Sol, ya que existe una enorme diferencia de temperatura.

Además de los ya citados, los principales componentes son el formaldehído y el metano, aunque en la cabellera abundan también pequeñas partículas sólidas y gránulos de polvo de un diámetro inferior a la décima de micrómetro. El material es

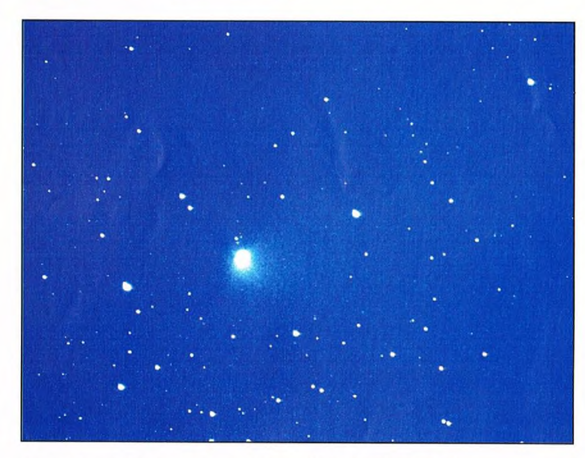


Imagen del cometa Hale-Bopp que, entre finales de marzo y comienzos de abril de 1997, pasó cerca de la Tierra, ofreciendo un espectáculo extraordinario.

expulsado del núcleo en chorros muy violentos que pueden llegar a tener centenares de miles de kilómetros de longitud. Esta salida tiene lugar en línea recta, pero, como consecuencia de la presión que ejerce la radiación solar, el material es acelerado en dirección opuesta al Sol, formando una cola de partículas que, sin embargo, se separan según sus dimensiones.

La temperatura de este halo que circunda el núcleo es, en las zonas de las que parten los chorros, del orden de –73 °C, pero, al alejarse, la temperatura disminuye hasta –253 °C. Sólo cuando las moléculas de la cabellera se escinden a causa de su baja densidad y liberan energía en una reacción exotérmica, la temperatura puede subir hasta –173 °C, aproximadamente.

El diámetro medio de la cabellera de un cometa es de unos 100.000 km, pero su densidad y su masa son muy pequeñas. Algunas moléculas se descomponen y ionizan por efecto de la radiación solar ultravioleta a lo largo de la distancia que hay entre el núcleo y la cola. En las regiones más próximas al Sol, el índice de descomposición de las moléculas de la cabellera es más rápido a causa de las interacciones con el viento solar, que las empuja en dirección opuesta al Sol para formar la cola.

UNA LUMINOSIDAD EXCEPCIONAL

La luminosidad aparente de un cometa depende de su distancia al Sol y a la Tierra. Esta luminosidad es aproximadamente proporcional a la cuarta potencia de la distancia al Sol, lo que indica que los cometas no sólo reflejan la luz, sino que la absorben y, además, emiten cierta cantidad de ella.

Como consecuencia de ello, un factor importante para la determinación de la luminosidad es el índice de actividad solar. Se ha visto que, en presencia de un aumento temporal de tal actividad, un cometa en las proximidades del Sol puede aumentar súbita y considerablemente su luminosidad. En los cometas de período muy corto, la luminosidad decrece un poco de una pasada a otra, quizá a causa de la pérdida de material que se produce en cada aproximación al Sol.

EL NÚCLEO

En la hipótesis formulada por el astrónomo estadounidense Fred Whipple, el núcleo de los cometas era asimilable al concepto de «una bola de nieve sucia». Según este modelo, confirmado por las imágenes que ha enviado la sonda Giotto, de la Agencia Espacial Europea, que en 1986 se aproximó al cometa Halley, en el núcleo rocoso hay hielo de agua, polvo y otros gases congelados aglomerados por la gravedad, además de compuestos sólidos orgánicos.

Los núcleos de los cometas tienen un albedo muy bajo: el del Halley es de 0,027, lo que significa que absorbe más del 97% de la luz incidente. Por este motivo, cuando se encuentran a gran distancia del Sol y los gases todavía están congelados, son prácticamente invisibles. Los colores de los núcleos varían del negro al gris y al rojo, según las relaciones entre los polvos y el hielo de la superficie.

La composición química del núcleo se conocía incluso antes del encuentro con el Halley, gracias a los estudios del análisis espectral de los gases emitidos: hay silicatos

Al aproximarse al Sol, el núcleo de los cometas expulsa el material que formará la cabellera.



comunes y muchos elementos en forma atómica y en forma de moléculas (quizá complejas) compuestas de carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno, además de radicales OH.

El núcleo de un cometa tiene la forma de un elipsoide de tres ejes, con dimensiones que varían entre 1 y 10 km (por ejemplo, el Halley mide 8,2 × 8,4 × 16 km). En general, las densidades son bajas, con valores comprendidos entre 0,2 y 1,2 veces la del agua. También los núcleos de los cometas, como los de otros cuerpos celestes, giran alrededor de un eje con períodos muy diversos: varían entre unas pocas horas y unos diez días.

LAS COLAS

Cuando un cometa se hace brillante y, por tanto, visible, la característica principal que se observa es su cola. A pesar de las increíbles dimensiones que puede llegar a tener ésta, 1 km^3 de cola contiene menos material que 1 mm^3 de nuestra atmósfera.

La cola está formada por los gases de la cabellera y apunta siempre en dirección opuesta al Sol. Antes se pensaba que la dirección de la cola se debía a la presión de la radiación solar, pero actualmente se cree que la causa principal es el viento solar. Éste se compone de partículas cargadas que son emitidas por el Sol. La fuerza que ejercen tales partículas sobre las moléculas de gas de la cabellera es cien veces superior a la fuerza gravitatoria del Sol, de manera que las moléculas de la cabellera son expelidas hacia atrás por el viento. Sin embargo, el viento solar no es constante, y a sus variaciones se deben las finas estructuras que pueden observarse en la cola. También es posible que las erupciones solares y otras perturbaciones del Sol puedan influir en la forma de la cola, por lo que ésta adquiere configuraciones diferentes.

En realidad, más que hablar de cola habría que hacerlo de colas, porque existen al menos tres y de naturaleza diferente: de gas ionizado, otra de polvo y una de sodio.



Cuando el cometa llega a las zonas más interiores del sistema solar, empieza a desarrollar la cola.

LA COLA DE POLVO

La cola de polvo, de color amarillento, suele tener una forma curva y plegada, y está formada por partículas sólidas simples emitidas por el núcleo durante la expulsión de los gases. Estas colas están sometidas tanto a la fuerza gravitatoria como a la fuerza de la presión de radiación del Sol, y, dado que esta última es mayor para las partículas pequeñas, se produce una separación de las partículas de polvo de acuerdo con sus dimensiones.

Las partículas de dimensiones mayores permanecen próximas a la cabellera; las micrométricas son empujadas en dirección opuesta al Sol.

La visibilidad de la cola depende de muchos factores, como la cantidad de polvo y de cristales de hielo que se dispersan, del contraste con el fondo del cielo, del ángulo que forma la dirección de conjunción entre nosotros y el cometa, y del plano orbital del propio cuerpo.



Un cometa (en este caso el Hyakutake) es visible incluso a grandes distancias gracias a la presencia de la cola, que puede llegar a tener 100 millones de kilómetros.

LA COLA DE GASES

La cola de gases, de color azulado a causa del monóxido de carbono, está formada por las moléculas de los gases expulsados por el núcleo, y es la que alcanza mayores dimensiones (una cola gaseosa puede alcanzar cien millones de kilómetros).

Las colas gaseosas son rectilíneas y tienen un ángulo pequeño con respecto a la dirección opuesta al Sol. En ellas hay estructuras, nodos y condensaciones que cambian continuamente, pero quizá uno de los fenómenos más espectaculares que pueden producirse es la separación súbita entre la cabellera y la cola, y la conversión de ésta en una nueva cola de gas.

Apenas salido del núcleo, el gas es ionizado por la radiación ultravioleta del Sol y, siguiendo las líneas de fuerza del viento solar, forma una cola compuesta de dos zonas de magnetización opuesta.

La cola gaseosa se hace visible porque las moléculas son excitadas por la radiación solar y emiten en frecuencias concretas.

MOVIMIENTOS EN LA VÍA LÁCTEA Y EN LAS OTRAS GALAXIAS

La Vía Láctea gira como un gran carrusel, y todas las estrellas que la componen participan en este movimiento. También nuestro Sol, con todo el sistema solar, gira alrededor del centro de la Galaxia a una velocidad de más de doscientos kilómetros por segundo.

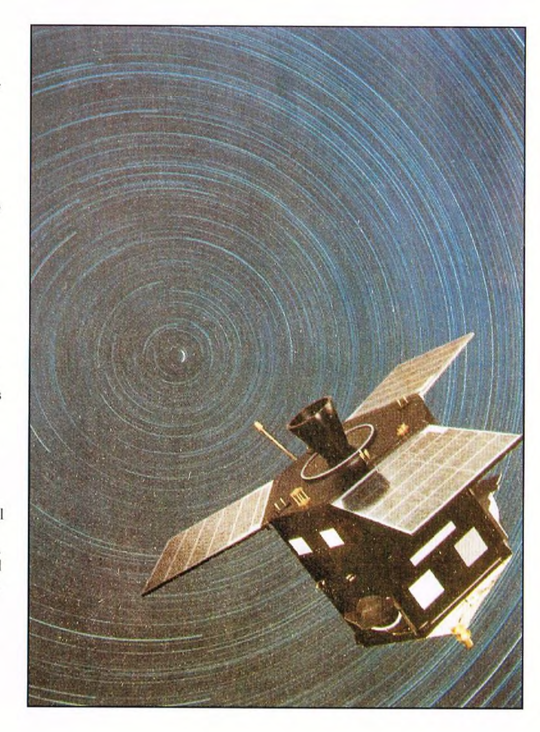


Cuando nos encontramos sentados ante una mesa, es difícil creer que estamos viajando a gran velocidad por el espacio, participando de todos los movimientos propios de nuestro planeta, además de los que éste efectúa, junto con todo el sistema solar, dentro de la Vía Láctea y del movimiento de la Galaxia en la expansión del universo. A cada instante somos arrastrados en una carrera loca a centenares de kilómetros por segundo dentro del cosmos. El hecho de que no nos demos cuenta de este fenómeno se debe a la regularidad de los movimientos, puesto que se producen a una velocidad que, en una primera aproximación, es siempre constante. Muy distinto sería si, en un momento determinado, la Tierra acelerase o disminuyese esta velocidad por cualquier motivo. En este caso, seríamos arrojados de nuestro planeta como mosquitos.

Por tanto, los objetos celestes que pueblan la Vía Láctea y las demás galaxias exteriores a la nuestra tienen muchos movimientos, incluso diferentes a los nuestros. Naturalmente, entre estos objetos está el Sol, que arrastra tras de sí a todos los planetas del sistema solar, los satélites, los asteroides, etcétera.

UNA GRAN RUEDA DE FUEGOS DE ARTIFICIO

Nuestra Galaxia, la Vía Láctea, tiene una forma espiral característica, similar a la de muchas otras galaxias observables en todas las direcciones del firmamento. Si pudiésemos verla «desde arriba» (es decir, desde el polo Norte galáctico), comprobaríamos que tiene un núcleo extremadamente denso y luminoso, dentro del cual las estrellas están muy próximas unas a



En este fotomontaje se representa el satélite Hipparcos sobre el fondo del cielo en rotación. Las mediciones efectuadas por él han proporcionado informaciones importantes sobre la posición de las estrellas.

otras, y unos brazos en los que las estrellas se encuentran más distanciadas. Estos brazos parten del núcleo y se enrollan a su alrededor, dando a la Vía Láctea el aspecto general de una enorme rueda de fuegos de artificio.

La cuestión de la forma de la Galaxia tiene cierta importancia. A principios de siglo todavía no estaba claro si las «nebulosas» espirales (parecidas a la Vía Láctea) que se veían en el firmamento eran objetos pertenecientes a nuestro sistema o eran independientes de los «universos-isla», como entonces se llamaban. En este último caso, para aparecer tan pequeños, deberían hallarse a gran distancia de nosotros, lo cual ponía en un aprieto a los astrónomos de la época.

EL MOVIMIENTO DE LAS ESTRELLAS EN EL INTERIOR DE LAS GALAXIAS

Hacia 1915, en el observatorio astronómico de Monte Wilson, en el que trabajaba el célebre Edwin Hubble, había también otro astrónomo menos conocido:



Arriba, fotografía de la galaxia M 101. Se trata de un bello ejemplo de galaxia espiral, situada en la constelación de la Osa Mayor.

Abajo, reproducción del dibujo de Adriaan van Maanen sobre los presuntos movimientos de las estrellas de la galaxia M 101, representados con trazos.



Adriaan van Maanen, que había emprendido la realización de un programa a largo plazo con el cual pretendía estudiar los movimientos propios de las galaxias. Lo que quería observar era si estos objetos se movían en el espacio y si en su interior cada una de las estrellas cambiaba su posición al cabo de algunos años. Naturalmente, todo esto se incluía en la problemática más amplia de la cosmología, que por aquel entonces estaba dando sus primeros pasos. Utilizando los instrumentos de aquel observatorio, entonces en la vanguardia mundial, Van Maanen sostuvo, en 1916, que podía probar que las estrellas de M 101, una gran galaxia espiral en la constelación de la Osa Mayor, se habían desplazado y que era posible observar un flujo de materia que, desde su centro, se alejaba a lo largo de sus brazos espirales. Este convencimiento partía de la comparación de fotografías de aquella galaxia tomadas con algunos años de diferencia entre unas y otras.

Una afirmación así tenía notables implicaciones cosmológicas. En realidad, de acuerdo con sus propias mediciones, Van Maanen afirmó que M 101 efectuaba una rotación completa sobre sí misma en unos 85.000 años, tiempo que, a escala astronómica, es muy breve. Esto significaba que las dimensiones totales de aquel objeto debían ser relativamente pequeñas, mucho menores que las de la Vía Láctea. Además, como en el firmamento describía un ángulo bastante grande, debía hallarse a una distancia no muy grande de la Tierra y, por tanto, en el interior de nuestra Galaxia.

UN CLAMOROSO DESMENTIDO

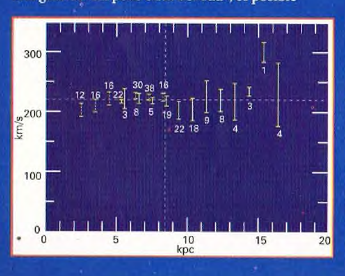
Hacia los años veinte, Van Maanen había publicado resultados similares a los referidos a M 101 incluso

MOVIMIENTOS VERTIGINOSOS

Las galaxias parecen objetos estáticos. Sin embargo, en su interior se producen movimientos vertiginosos: las estrellas, las nebulosas, los cúmulos, etc., se mueven por motivos diversos, atraídos por los objetos que tienen más cerca e inmersos en la rotación general de la galaxia a la que pertenecen. Por tanto, su aspecto cambia, pero para percibir el cambio es preciso que transcurran centenares de millones de años.

para otras siete galaxias espirales. Sus mediciones parecían ser muy rigurosas, a pesar de que ningún otro astrónomo había publicado resultados parecidos a los suyos. En 1935, Hubble, que, como se ha dicho, trabajaba con él en Monte Wilson, decidió comprobar los resultados de Van Maanen y vio que contenían errores sistemáticos que los invalidaban. El propio Van Maanen tuvo que admitir que los movimientos propios de las estrellas en las galaxias exteriores a la nuestra, si existían, eran mucho más pequeños de lo que él había creído en un primer momento. Este suceso nos da una vez más idea de lo difícil que es en astronomía hacer ciertas mediciones, especialmente cuando se toman en consideración objetos lejanos como las galaxias.

Sin embargo, la cuestión del movimiento de las estrellas en el interior de las galaxias empezaba a abrirse paso. Actualmente, una rama de la astronomía, la cinemática estelar, se ocupa precisamente del movimiento de las estrellas dentro de la Vía Láctea, y los desarrollos de la espectroscopia permiten efectuar observaciones mucho más exactas. La cinemática estelar estudia los objetos celestes separando la luz que envían a la Tierra en sus colores fundamentales y produciendo el llamado espectro. En el espectro aparecen unas rayas oscuras que indican la presencia de varios elementos químicos en el objeto estudiado. Por otra parte, la posición de estas líneas permite evaluar el movimiento del objeto mismo, ya que, a causa del efecto Doppler, las rayas aparecen desplazadas hacia el azul si tal objeto se está aproximando y hacia el rojo si se está alejando. Encuadrando una galaxia «un poco en la bóveda», es posible determinar el movimiento de las estrellas de aquella región y construir la curva de rotación de la galaxia, un gráfico que muestra las distintas velocidades a las que se desplazan las estrellas situadas a diferentes distancias del centro de la galaxia considerada. Este método es más fácilmente aplicable a las galaxias espirales.



A la izquierda, curva de rotación de la Vía Láctea. En el gráfico se representan: en horizontal, la distancia al centro; en vertical, la velocidad de las estrellas. La diferente longitud de las barras verticales se debe a la incertidumbre de las medidas.

LA ROTACIÓN DE LA VÍA LÁCTEA

Evidentemente, puede utilizarse el mismo procedimiento para las estrellas de la Vía Láctea, cuyos desplazamientos es posible evaluar. El resultado que actualmente se obtiene es que nuestra Galaxia efectúa un giro sobre sí misma en unos 240 millones de años (un tiempo mucho más largo que el calculado por Van Maanen para M 101), y que el Sol orbita alrededor del centro galáctico a una velocidad aproximada de 220 km/s, es decir,

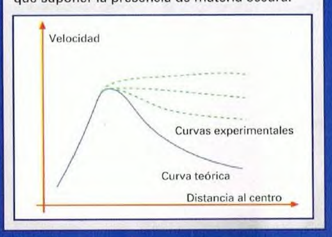
a 800.000 km/h. Debido a este movimiento, es fácil imaginar que el cielo estrellado que iluminaba las noches de la Tierra cuando en ésta había dinosaurios era muy distinto del actual, ya que durante este tiempo el Sol ha efectuado, al menos, un tercio de vuelta a la galaxia. Las figuras de las constelaciones, tal como hoy las conocemos, entonces no existían, de la misma manera que no existirán en un futuro muy lejano.

La rotación de la Vía Láctea y la de las demás galaxias espirales tiene lugar de manera diferencial, es decir, las estrellas y los restantes objetos celestes más próximos al centro tienen un período de revolución más corto que los más alejados. Las líneas espectrales utilizadas para este tipo de estudio son las del hidrógeno atómico, cuya longitud de onda característica es de 21 cm, y las del monóxido de carbono.

Arriba, región central de la Vía Láctea en la zona de Sagitario, fotografiada desde la isla Mauricio.

LA CURVA DE ROTACIÓN DE UNA GALAXIA: HAGAMOS ALGUNAS CUENTAS

La curva de rotación de una galaxia es un gráfico que muestra las velocidades de las estrellas en función de su distancia al centro. Para las estrellas más próximas al centro, es prácticamente plana, ya que el núcleo y las partes más interiores de una galaxia se comportan como un sólido. En cambio, las leyes de la física demuestran que, con el aumento de la distancia al centro, la velocidad debería disminuir. Esta deducción deriva de las consideraciones siguientes. Una estrella, lo mismo que un planeta en órbita alrededor del Sol, está sometida a dos fuerzas: una dirigida hacia el centro del sistema (a causa de la atracción gravitatoria de toda la «parte» de la galaxia que se encuentra entre ella y el centro), y una centrífuga, dirigida hacia el exterior, debida a su movimiento de rotación alrededor del centro. Para que la estrella se halle en equilibrio, es decir, no tienda ni a huir de la galaxia a la que pertenece ni a precipitarse hacia el núcleo, estas dos fuerzas han de ser iguales. La primera fuerza, la de atracción, puede calcularse con la ley de la gravitación universal de Newton: $F1 = G (M_s \cdot M_g)/r^2$, donde *G* es la constante de la gravitación universal, M_s la masa de la estrella, M_g la masa de la parte de galaxia entre la estrella y el centro, y *r* la distancia de la estrella al centro. En cambio, la segunda fuerza, la centrífuga, se calcula según las leyes de la dinámica: $F = M v^2/r$, donde *v* es la velocidad a la que la estrella orbita alrededor del centro de la galaxia. La igualdad de estas dos expresiones muestra que la velocidad *v* es proporcional a $r^{-1/2}$ y, por tanto, tiene que disminuir con la distancia. A menudo esto no es así, por lo que los astrónomos han tenido que suponer la presencia de materia oscura.



El estudio de las curvas de rotación de las galaxias da también otras informaciones muy importantes. *A priori*, es posible imaginar, al menos teóricamente, cómo gira una galaxia. En las regiones más internas, donde las estrellas son muy densas y están muy cerca unas de otras, la galaxia se comporta prácticamente como un cuerpo rígido. En esta región, la velocidad

En el mapa se representa la constelación de Hércules, especialmente la estrella Mu, hacia la cual se dirige el Sol y, con él, todo el sistema solar.

de rotación de las estrellas alrededor del centro es directamente proporcional a su distancia al propio centro, y la trayectoria de rotación es, en realidad, recta.

A distancias cada vez mayores de la periferia de la galaxia, es presumible que ésta ya no se comporte como un cuerpo rígido, puesto que no es lo bastante densa. Entonces, la curva de rotación debería hacerse kepleriana –es decir, similar a la que regula las velocidades a las que los planetas del sistema solar orbitan alrededor del Sol– y pasar a ser descendente. Así, se sabe que Urano, por ejemplo, tiene una velocidad orbital mucho menor que la Tierra, que se encuentra más en el interior.

LA MATERIA OSCURA

Pero esto no ocurre casi nunca: las curvas de rotación siguen siendo aplanadas y, en algunos casos, incluso tienden a ascender. Esto se interpreta como una prueba cierta de que debe existir una gran cantidad de masa invisible que hace que las galaxias sean mucho más densas de lo que parece cuando son observadas con telescopios ópticos normales. Esta masa invisible, la llamada materia oscura, actúa sobre todos los objetos que se encuentran en sus proximidades y les imprime unas velocidades mayores de las que prevé la teoría.

Pero las galaxias tienen muchos otros movimientos. Por ejemplo, el Sol tiene un movimiento propio e independiente que se superpone al de revolución alrededor de la Vía Láctea. Se desplaza en dirección a la estrella Mu de la constelación de Hércules a una velocidad de unos 17 km/s, es decir, a unos 60.000 km/h. Para percibir este movimiento, los astrónomos observan muchas estrellas del firmamento en direcciones opuestas, que, por una parte, parecen alejarse de nosotros, mientras que, por otra, parecen aproximarse, lo cual significa que el Sol se mueve en el espacio.

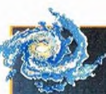


Imagen del cúmulo globular M 13, en la constelación de Hércules. Los cúmulos globulares recorren órbitas aproximadamente circulares y se mueven como satélites alrededor de la galaxia.

Esta observación la hizo con precisión y por primera vez W.W. Campbell en 1922, utilizando los datos sobre las velocidades respecto al Sol de otras 2.000 estrellas. Ya Herschel, a finales del siglo XVIII, había observado este movimiento, pero no tenía bastantes estrellas de referencia en las que basarse para hacer una evaluación correcta.

Igualmente, las otras estrellas tienen movimientos propios que, en general, se deben a las atracciones locales de estrellas próximas que las llevan «de paseo» por la galaxia en direcciones aleatorias.

Es interesante notar que estudios recientes han demostrado que la velocidad a la que se mueven las estrellas dentro de la galaxia guarda relación con su evolución. Grupos de estrellas apenas formados tienen velocidades similares y forman una especie de «corrientes» que se mueven en la misma dirección. En cambio, cuando envejecen, se dispersan y esta regularidad de movimiento desaparece. Por tanto, se puede afirmar que la cinemática de las estrellas es representativa de su edad y, sobre todo, de su tipo espectral, dado que las estrellas clasificadas en los primeros tipos (O, B, etc.), las más calientes, tienen una vida breve, mientras que las de los últimos tipos (G, K, M) tienen una evolución y, por consiguiente, una vida mucho más larga.



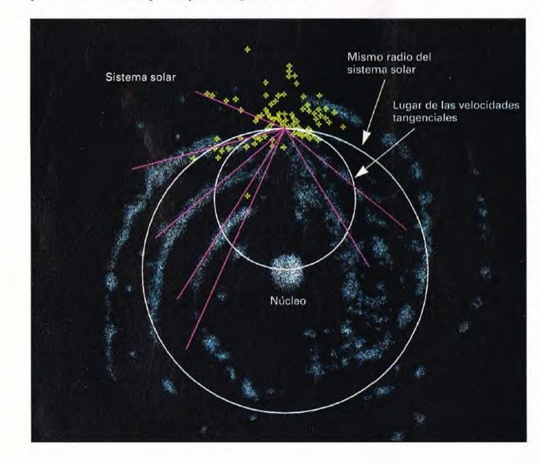
CINEMÁTICA ESTELAR Y FAMILIAS DE ESTRELLAS

El estudio de la cinemática de las estrellas de la Vía Láctea se facilita con la división de las estrellas en familias de objetos homogéneos, por edades, características físicas y situación en el interior de la Galaxia. Las estrellas más jóvenes, situadas en los brazos espirales, tienen una velocidad de pocos kilómetros por segundo, ya que todavía no han tenido tiempo de interaccionar de manera próxima con otras estrellas, las cuales podrían atraerlas y aumentar así su velocidad. Las estrellas de edad mediana, que pueblan el disco de la Galaxia hasta una distancia de unos 50.000 a.l. del centro, tienen velocidades ligeramente mayores. En cambio, las más viejas, que pertenecen al halo esférico que circunda la Galaxia hasta una distancia de unos 100.000 a.l. del centro, tienen velocidades superiores a los 100 km/s (similares a las de los cúmulos globulares). Naturalmente, diferentes edades significan también diferentes características físicas: por ejemplo, si se observan estrellas progresivamente más viejas, se ve que tienen un contenido de metales cada vez menor, ya que se formaron cuando todavía no se habían sintetizado los elementos pesados en el universo. Por tanto, la cinemática estelar puede dar informaciones muy amplias, incluso sobre la evolución y la edad de las estrellas.

EL MOVIMIENTO DE LOS OTROS OBJETOS

Las estrellas no son las únicas que se mueven en el interior de las galaxias. También los otros objetos –cúmulos abiertos y globulares, nebulosas, planetas– son arrastrados por estas ruedas cósmicas.

Particularmente interesantes en este aspecto son los cúmulos globulares, conjuntos muy densos de millones de estrellas viejas que pueblan las periferias de las galaxias, especialmente las galaxias espirales, pero también las elípticas y las irregulares. Por ejemplo, en la Vía Láctea, los cúmulos globulares se encuentran a centenares en una zona esférica que rodea el núcleo y el disco de la Galaxia.



Representación del plano de nuestra Galaxia tal como se vería desde el exterior. Obsérvense los brazos espirales en las proximidades del sistema solar.

Se comportan como verdaderos satélites, moviéndose alrededor del centro de la Galaxia en órbitas elípticas muy alargadas e inclinadas respecto al disco. Se desplazan a velocidades del orden de los 200 km/s y atraviesan el disco periódicamente (algunos millones de años). Son tan densos que son estables, pero la interacción con el plano de la Vía Láctea contribuye a que no se disgreguen.

Las cosas resultan muy distintas en los cúmulos abiertos, que contienen unos pocos centenares o miles de estrellas, y están distribuidos generalmente en los brazos espirales de la Galaxia. Las estrellas que los componen no son tan densas como las de los cúmulos globulares, lo que hace que tiendan a disgregarse, bien en tiempos de unos miles de millones de años, bien dejando libres a sus estrellas para que vaguen por el interior de la Galaxia. Mientras que se conocen cúmulos globulares muy viejos, con una edad de más de 10.000 millones de años, los abiertos son, por término medio, mucho más jóvenes (se habla de edades del orden de centenares de miles, millones o decenas de millones de años), y sólo en algunos casos se llega a edades superiores a los mil millones.

El campo de la cinemática estelar está en continua evolución y se esperan importantes resultados de los instrumentos más recientes o todavía en fase de proyecto y construcción. Por ejemplo, mucho podrá decir Hipparcos (HIgh Precision PARallax COllecting Satellite), el satélite destinado a hacer refinadas mediciones astrométricas, es decir, de posiciones estelares, puesto en órbita hace varios años y cuyos resultados empiezan a divulgarse. Sus observaciones, muy precisas, permitirán llegar a resultados muy importantes para la comprensión de los movimientos que tienen lugar en nuestra Vía Láctea y en las demás galaxias.

FÉNIX

En el siglo XVI, también fue llamado para ampliar el bestiario celeste el fénix, mítica ave que tenía la singular propiedad de resurgir de sus propias cenizas.



La constelación de Fénix es una de las muchas que introdujeron durante el auge de la navegación comercial los navegantes y mercaderes que iban al hemisferio meridional del planeta.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

A unos 25° más al sur de Deneb Kaitos, la más luminosa de las estrellas de la Ballena, y ligeramente desplazada hacia el oeste, se encuentra el astro más brillante de Fénix, Alfa. Como alternativa, se puede aprovechar la alineación de las estrellas Alfa y Beta de la constelación de la Grulla para identificar, a oriente de ellas, la estrella Beta *Phoenicis*.

Sin embargo, Fénix es una constelación bastante pálida, dado que casi todos sus astros son muy débiles.

ESTRELLAS NOTABLES

Como ya se ha dicho, Alfa es la estrella más luminosa de toda la constelación. Es un astro anaranjado, de magnitud 2,4, y su distancia a la Tierra ha sido evaluada en unos ochenta años luz.

Beta tiene una magnitud 3,3 y su luz es amarilla. Dista de nosotros más que Alfa, ya que está a 130 años luz del sistema solar. Se trata también de una estrella doble, formada en realidad por un par de estrellas de igual luminosidad (magnitud 4,1 para ambas), que necesitan un telescopio de 10 cm de abertura para resolverlas.



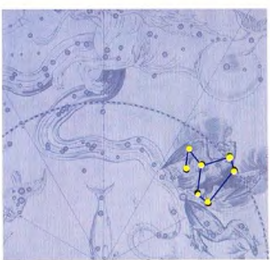
El único objeto telescópico dentro de los confines de Fénix es NGC 625, una galaxia espiral barrada de magnitud 12.

Zeta es quizá la estrella más interesante de la constelación. Se trata de una estrella múltiple cuya componente principal es también variable. Procedamos con orden: un pequeño telescopio apuntado sobre este astro muestra una estrella azul cuya luminosidad oscila entre las magnitudes 3,9 y 4,4, con un período algo superior al día y medio. En las cercanías de esta estrella, veremos asimismo una compañera de octava magnitud, mientras que un instrumento de más de 20 cm de diámetro nos mostrará una tercera estrella de séptima magnitud, muy próxima a la principal. El motivo de la variabilidad de esta última hay que buscarlo en la presencia de un cuarto astro invisible que orbita muy cerca del más luminoso y con el cual da lugar a eclipses periódicos. Por tanto, Zeta está formada por cuatro estrellas, de las que sólo tres pueden ser separadas por los telescopios.

OTROS OBJETOS DE FÉNIX

La constelación de Fénix es muy pobre en objetos telescópicos. Esto se debe también a su ubicación en la esfera celeste. Limita con la constelación del Escultor, donde se encuentra el polo Sur de la Vía Láctea. Por consiguiente, no es ahí donde hay que buscar cúmulos galácticos o nebulosas gaseosas.

Además, Fénix tampoco tiene suerte en lo referente a objetos extragalácticos, ya que solamente contiene la galaxia NGC 625 digna de mención y, por añadidura, sólo es de decimosegunda magnitud. Se encuentra no lejos de la estrella Gamma y es una galaxia espiral barrada.



Fénix es una constelación que recuerda el ave mitológica que el cristianismo adoptó como símbolo de la resurrección debido a su facultad para poder renacer de las propias cenizas.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

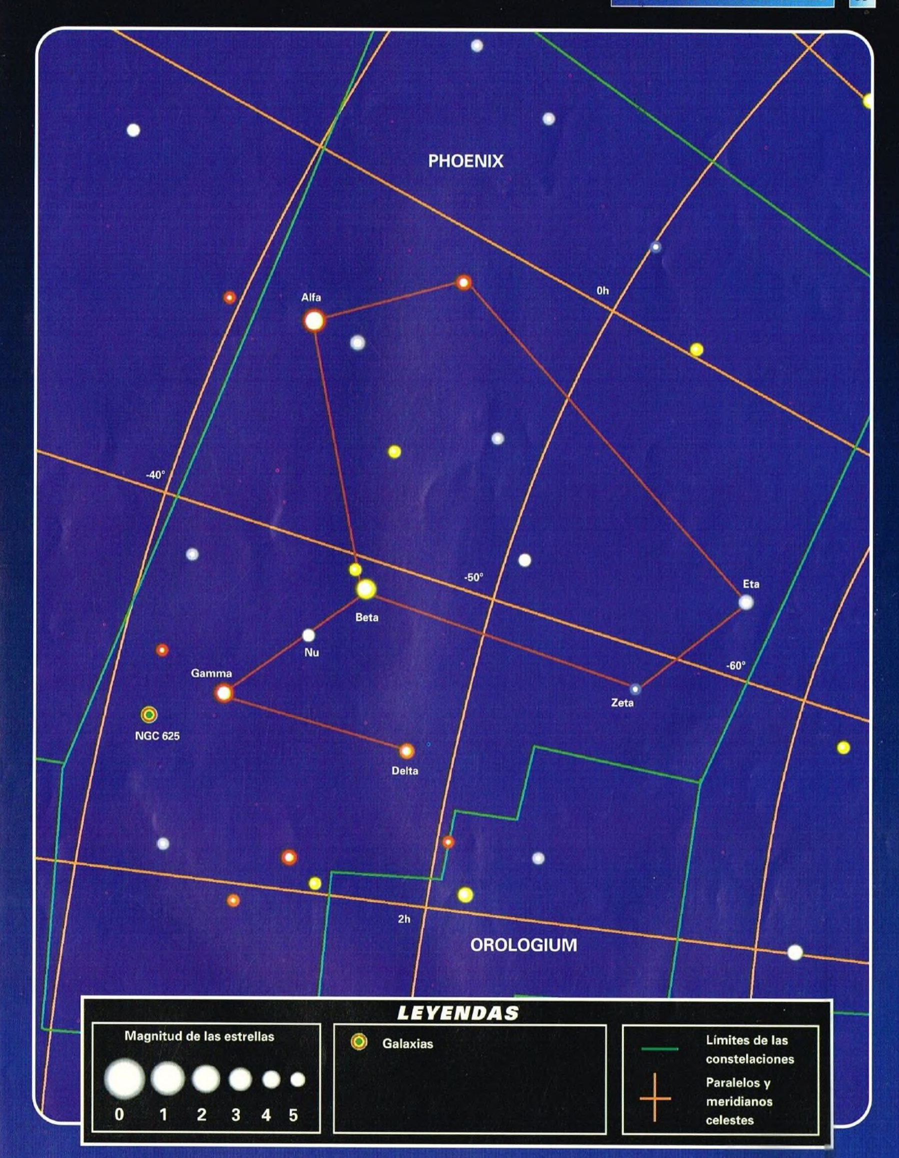
FÉNIX

El fénix es el ave que renace continuamente de sus cenizas y, en el histórico atlas de Bode, está representado sobre una pira. Según una leyenda, el fénix vivió quinientos años y, llegado al fin de sus días, antes de morir construyó un nido en la copa de una palmera. Después de su muerte nació un pequeño fénix en el mismo nido, que llevó inmediatamente el nido al templo de Hiperión. Aunque estos mitos son de la Antigüedad, Fénix no se introdujo como constelación hasta tiempos más recientes, coincidiendo con la gran actividad marítima que hubo a partir del siglo XVI.

DÓNDE BUSCARLA

FÉNIX

El paso de Fénix por el meridiano a medianoche ocurre entre mediados de septiembre y mediados de octubre, aunque es difícil identificarlo desde latitudes septentrionales medias, ya que se sitúa en declinaciones inferiores a –40°. Por ejemplo, Alfa, que además de ser la estrella más luminosa de la constelación es también una de las más septentrionales, tiene una declinación equivalente a unos –42°, lo que significa que es invisible desde lugares de latitudes superiores a 48° N. En algunos puntos se alza como máximo unos 3° sobre el horizonte. Fénix abarca una región del cielo comprendida entre 23 horas 25 minutos y 2 horas 25 minutos de ascensión recta, y entre –40 y –58° de declinación, aproximadamente.


PHOENIX
0h
Alfa
-40°
-50°
Eta
Beta
Nu
Gamma
-60°
Zeta
NGC 625
Delta
2h
OROLOGIUM
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Galaxias
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LA SONDA CASSINI

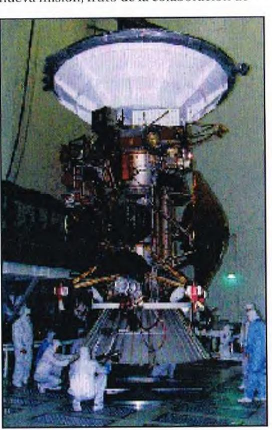
Nacida de la colaboración de tres importantes agencias espaciales –NASA, ESA y ASI–, la sonda Cassini está destinada a cumplir una misión tan delicada como fascinante: desvelar los misterios que todavía guardan Saturno y sus anillos.



Entre los planetas de nuestro sistema solar, quizá sea Saturno el que suscite una fascinación y un interés mayores. En primer lugar, por sus anillos, que hacen de él un objeto absolutamente único, pero también por sus dimensiones, sólo superadas por las de Júpiter. Según el programa de un proyecto de investigación en curso, una nueva sonda volará sobre Saturno con objeto de desvelar secretos todavía no descubiertos.

UNA MISIÓN CONJUNTA

La misión Cassini representará el retorno de una sonda automatizada al sistema de Saturno después de muchos años de ausencia. Las últimas sondas que volaron hacia el planeta fueron las Pioneer y las Voyager. Desde entonces, una vez agotada la fuente de datos de archivo recogidos por estas dos sondas, el estudio de Saturno se ha hecho exclusivamente a distancia, con telescopios terrestres o con el Hubble. Esta nueva misión, fruto de la colaboración de tres organismos espaciales, NASA, ESA y ASI (Agencia Espacial Italiana), está destinada a abrir un nuevo y sugestivo capítulo en la historia de las exploraciones espaciales y, sobre todo, en la de Saturno. Lleva el nombre del astrónomo Giovanni Domenico Cassini que, en el siglo XVII, tuvo un papel de importancia primordial en el estudio de Saturno y sus anillos.



EL PLAN DE VUELO

Según las previsiones, la sonda Cassini debería lanzarse en octubre de 1997. Para colocarla en el espacio se utilizará un lanzador estadounidense, el cohete Titán IV Centauro, que saldrá de la base de Cabo Cañaveral (Florida).

LA CÁPSULA

La sonda Cassini estará formada por dos componentes distintos. El principal es el orbitador, con un peso de unas dos toneladas, que será puesto en órbita alrededor de Saturno y realizará el viaje desde la Tierra.

El segundo es una sonda más pequeña, de unos 3 m y 350 kg, llamada Huygens, que se montará en el interior del orbitador y será liberada cuando llegue a su destino.

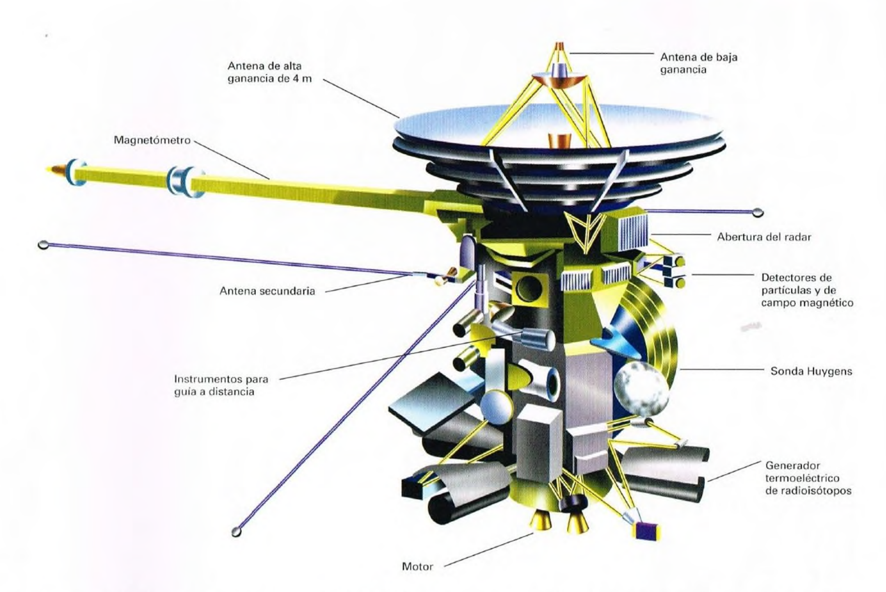
El peso total en el momento del lanzamiento, considerados también los combustibles, será de unas cinco toneladas. La cápsula, por tanto, es una de las mayores y más pesadas que jamás haya lanzado el hombre al espacio extraterrestre, solamente superada por las sondas Phobos, enviadas a Marte hace varios años por la antigua Unión Soviética. A causa de la gran distancia desde la que deberá operar la sonda Cassini, su soporte energético estará garantizado por un pequeño generador nuclear de plutonio, parecido al que se utiliza en las sondas de largo recorrido, como Ulysses y Galileo. Obviamente, una parte fundamental del equipo que se llevará a bordo la constituirán los instrumentos científicos (12 en el orbitador y 6 en la Huygens).

La sonda Cassini se empleará en la misión más ambiciosa con que la investigación de los planetas se enfrenta al nuevo milenio. Después de los grandes progresos de finales de los años setenta con las sondas Pioneer y Voyager, los resultados científicos de la misión Cassini darán un nuevo impulso al estudio de Saturno y su sistema de satélites.



La sonda Huygens es un elemento fundamental de la misión Cassini, ya que le corresponderá el estudio de Titán, el mayor satélite del sistema de Saturno. Será la primera sonda que se posará sobre la superficie de Titán.

Como es tradición en casi todas las misiones espaciales destinadas a la exploración del sistema solar y, por tanto, obligadas a recorrer decenas de millones de kilómetros, tampoco la sonda Cassini apuntará directamente hacia Saturno, sino que, antes de emprender el viaje que la llevará al señor de los anillos, deberá someterse a algunas impulsiones gravitatorias o *flyby*, según el argot astronáutico, para poder ser acelerada



hacia su punto de destino. La distancia que deberá recorrer (casi unas diez unidades astronómicas) es demasiado grande para poder cubrirla en tiempos razonables aprovechando únicamente la velocidad inicial de la sonda. La distancia de Saturno a la Tierra constituye un aspecto crítico para toda la misión, ya que influye de manera determinante en las comunicaciones entre la cápsula y las estaciones terrestres: las transmisiones desde y hacia la Tierra tardarán entre 68 y 84 minutos en llegar a sus respectivos destinos.

Evidentemente, esto imposibilita mantener un control en tiempo real de la cápsula por parte de los técnicos de la NASA, lo que podría constituir un problema en caso de acontecimientos imprevistos. Por este motivo, la sonda se ha proyectado para que sea lo más autónoma posible.

El planeta elegido para recibir las primeras impulsiones gravitatorias es Venus, primera etapa de la sonda.

Después de los *flyby* con Venus, previstos respectivamente para abril de 1998 y junio de 1999, la Cassini retrocederá sobre sus pasos y se dirigirá hacia la Tierra; desde aquí, dos meses después, será acelerada hacia Júpiter. El encuentro con el gigante del sistema solar debería producirse en diciembre del año 2000, momento en que recibirá su último y definitivo empuje gravitatorio hacia Saturno. Luego, la sonda debería llegar al sistema saturniano hacia julio del 2004 y permanecer en órbita los cuatro años siguientes. La misión tendrá, por tanto, una duración de casi once años.

EL PROGRAMA DE LA MISIÓN

Una vez en su destino, la sonda Cassini entrará en órbita alrededor del planeta a una distancia aproximada de 20.000 km, equivalente a una sexta parte del diámetro de Saturno. Permanecerá en órbita los cuatro años siguientes, durante los cuales efectuará unas sesenta vueltas en torno al planeta.

Hacia finales del 2004 tendrá lugar uno de los momentos más importantes de la misión: el cuerpo principal del satélite liberará la sonda Huygens, custodiada celosamente en su seno durante casi siete años. La sonda Huygens, construida por industrias europeas por encargo de la ESA, representa la contribución más importante de Europa a la misión. Una vez liberada de la cápsula madre, descenderá hacia la

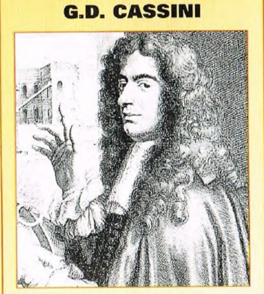
Dibujo técnico de la sonda Cassini. En el centro, parcialmente cubierta, puede verse la pequeña sonda Huygens.

UNA POSTAL EN EL ESPACIO

Entre las curiosidades de la misión, hay también una iniciativa promovida por la NASA, que parece estar logrando un discreto éxito entre los que, astrófilos o no, se sienten fascinados por el «señor de los anillos». Es posible enviar a Saturno una postal, que Cassini, con la insólita indumentaria de cartero espacial, entregará idealmente en el 2004, cuando llegue al planeta.
Para quienes estén interesados, el procedimiento es sencillo, pero han de apresurarse. Se trata de enviar una tarjeta postal normal (naturalmente firmada) a esta dirección:
Cassini Program
Jet Propulsion Laboratory
4800 Oak Grove Drive
Pasadena, CA 91109-8099.
La firma de la postal será digitalizada con un escáner y memorizada en el CD-ROM que se introducirá en la sonda.

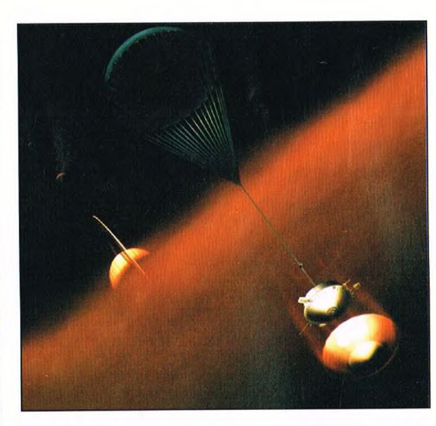
PERSONAJES

G.D. CASSINI



1625-1712

Contemporáneo de Huygens, el astrónomo francoitaliano Giovanni Domenico Cassini también contribuyó a escribir páginas importantes de la historia de Saturno. Descubrió otras cuatro lunas mayores del planeta: Japeto, Rea, Tetis y Dione. Pero su nombre es recordado porque descubrió también que los anillos de Saturno no son una superficie continua, sino que están divididos en dos partes por un espacio estrecho que sigue llevando su nombre: la división de Cassini.



Representación artística del inicio del descenso de la sonda Huygens que, en el año 2004, entrará en las nubes de Titán al separarse de la Cassini.

superficie inexplorada de Titán, el mayor satélite del sistema de Saturno. Los datos científicos que recoja la Huygens serán transmitidos a la sonda madre, que los almacenará para transmitirlos posteriormente a la Tierra. La sonda Cassini no actuará sólo como estación receptora, ya que, mientras tanto, su órbita la llevará a efectuar unos sesenta sobrevuelos de aproximación a algunos cuerpos del sistema. La mayor parte de estos sobrevuelos estarán dedicados al propio Titán, a los otros satélites de Saturno y a algunos de los satélites menores. Naturalmente, no podrá decirse que la misión se ha completado si no se hacen observaciones directas de Saturno. Por este motivo, el programa también comprende una serie de exploraciones de las regiones polares y ecuatoriales del planeta.

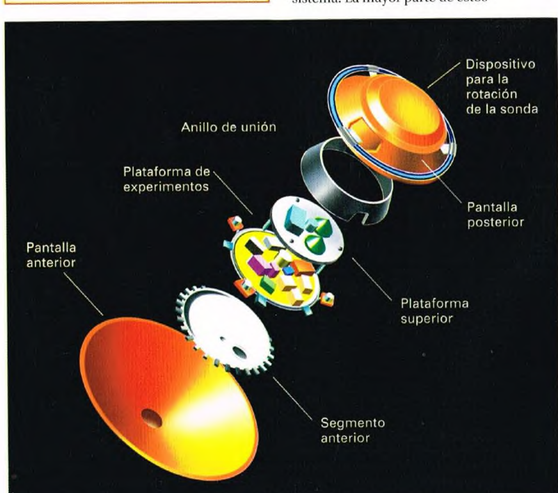
EL ORBITADOR

La instrumentación científica del orbitador incluye, en primer lugar, cámaras para las imágenes. Operarán tanto con luz visible como en el infrarrojo próximo y en el ultravioleta próximo. Las imágenes que recojan estos instrumentos serán fundamentales para obtener una morfología exacta de los cuerpos observados, y se integrarán con los datos recogidos por los radares de a bordo, los cuales se emplearán especialmente para elaborar un mapa detallado de la superficie de Titán. Además, algunos espectrógrafos se utilizarán para estudiar las temperaturas y las composiciones químicas de la superficie de Saturno y de la atmósfera de sus anillos. Finalmente, otros instrumentos permitirán analizar las propiedades y el comportamiento del gas ionizado de la magnetosfera del planeta, para deducir de ello sus características y la intensidad del campo magnético.

LA SONDA HUYGENS

La sonda Huygens lleva a bordo un laboratorio completamente automatizado que permitirá efectuar medidas de tipo químico-físico e investigar la composición de las nubes y la atmósfera de Titán y de su superficie. Huygens saldrá del cuerpo principal de la cápsula unas tres semanas





Dibujo del despiece de la sonda Huygens, que muestra los detalles de la instrumentación de a bordo.

Velocidad de entrada = 6,2 km/s
1000
500
Máxima desaceleración: 10 g - 25 g
300
192
Apertura paracaídas principal
Altitud (km)
Apertura paracaídas secundario
Apertura del orificio de instrumentos
Desenganche del disco de frenado
170
Nubes de metano
La sonda podrá hacer análisis de la superficie
Experimentos científicos de la atmósfera
2,5 horas
Tiempo

Una vez que llegue a las cercanías de Titán, la nave Cassini soltará una sonda más pequeña (la Huygens). Ésta, después de ser capturada por el campo gravitatorio del satélite, iniciará la fase de descenso mediante un paracaídas normal que la hará aterrizar suavemente sobre la superficie. Durante el descenso, que durará algo más de dos horas, la Huygens tomará las primeras imágenes cerca de Titán y efectuará las primeras mediciones directas de su atmósfera.

después del encuentro con Titán. Después de la fase de aproximación, entrará en el campo gravitatorio de este satélite e iniciará el descenso; frenará a través de su atmósfera mediante un paracaídas en la primera fase y proseguirá su descenso de manera controlada con cohetes de desaceleración.

Durante el descenso, que durará algo más de dos horas, una cámara especial tomará las primeras imágenes de la superficie de Titán, cruciales para poder estudiar su geología. Paralelamente, los sensores de a bordo medirán constantemente la temperatura de las nubes, y los espectrógrafos medirán su composición química y las características físico-químicas de las partículas de polvo que se encuentran en suspensión en la atmósfera.

En el momento del aterrizaje, estas medidas se efectuarán por segunda vez para estudiar la helada superficie del satélite (–178 °C).

Uno de los experimentos que realizará la Huygens durante el descenso se referirá a la medida de la velocidad de los vientos en la superficie de Titán, medida que se podrá efectuar gracias a técnicas de velocimetría Doppler. Sin embargo, la vida operativa de la sonda Huygens será muy breve y, en su mayor parte, se consumirá en la fase de descenso hacia la superficie de Titán. Se calcula que, una vez que la cápsula se haya posado en el suelo, las baterías de a bordo sólo podrán suministrar energía a los instrumentos de la sonda durante otra media hora como máximo antes de quedar descargadas.

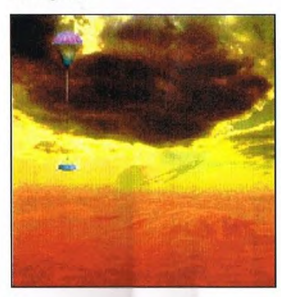
PERSONAJES

CHRISTIAAN HUYGENS



1629-1695

El astrónomo holandés Christiaan Huygens vinculó su carrera al estudio de Saturno. En 1659, utilizando uno de los telescopios más potentes de su tiempo, demostró que las estructuras que rodeaban Saturno, observadas por Galileo unos cincuenta años antes, eran, en realidad, anillos. Fueron las observaciones sistemáticas de los anillos de Saturno las que condujeron a Huygens al descubrimiento de su mayor satélite: Titán.



En el dibujo de la derecha se representan las nubes de metano que rodean Titán.

SATÉLITES PARA TELECOMUNICACIONES

La comunicación vía satélite ha revolucionado por completo la manera de conocer los hechos y los acontecimientos que ocurren en la Tierra. Su utilización permite escuchar y ver todo lo que sucede «en tiempo real», es decir, en el momento en que se está produciendo el acontecimiento.



En teoría, el principio fundamental en que se basa la comunicación vía satélite es bastante simple, pero resulta muy complejo de llevar a la práctica.

Una vez situado en órbita, el satélite de telecomunicaciones es un punto fijo en el espacio que puede ser utilizado para reflejar o retransmitir una señal de radio de alta frecuencia. La señal audio, vídeo o de datos que se transmite se envía al espacio y es recibida por el satélite, que la amplifica y la retransmite a la Tierra. Esto permite que la señal, que solamente puede viajar en línea recta, «rebote» a lo largo de miles de kilómetros hasta unas localidades situadas en todo el mundo.

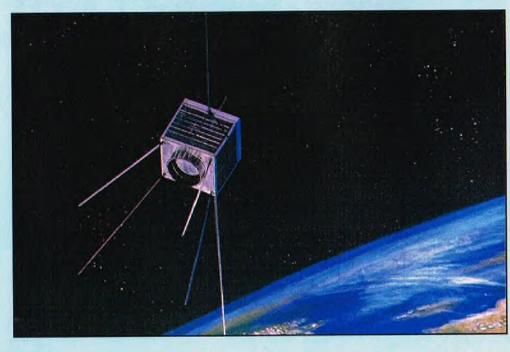
Salvo raras excepciones, los satélites de telecomunicaciones son geoestacionarios o están colocados en una órbita especial, a casi 36.000 km de altura sobre el ecuador, con una velocidad angular igual a la terrestre, por lo que se mantienen fijos respecto a un punto cualquiera de la superficie de la Tierra. Los satélites geoestacionarios ofrecen a las telecomunicaciones las ventajas siguientes:

• tres satélites son suficientes para cubrir toda la superficie terrestre (excluidos los casquetes polares);

• en conjunto, el sistema de telecomunicaciones (satélites y estaciones terrestres) tiene una configuración fija, lo que simplifica considerablemente el modo de operar y hace que las interferencias puedan controlarse mejor; todo ello permite la instalación en el espacio de una gran capacidad de comunicación.

LOS PRINCIPALES REQUISITOS

Las características que distinguen un satélite de telecomunicaciones y lo hacen interesante para muchas aplicaciones prácticas son:
1) la visibilidad, desde el satélite, de todos los puntos de la región que cubre la antena de a bordo; esto permite servir con la misma facilidad regiones o ciudades de alto desarrollo y zonas dispersas o de difícil acceso;
2) la posibilidad de unir simultáneamente mediante el satélite muchas estaciones en tierra;
3) la flexibilidad de crecimiento del sistema, ya que, si se desea conectar con una nueva localidad, basta construir en ella una estación terrestre;
4) la flexibilidad de distribución de la capacidad total de comunicación del satélite entre las diversas estaciones de tierra, lo que permite atender demandas no permanentes, como las que surgen de las concentraciones de personas en zonas de veraneo durante las vacaciones o de situaciones de emergencia debidas a desastres naturales o averías de la red terrestre;
5) la posibilidad de efectuar conexiones con medios móviles (embarcaciones, aviones, automóviles) o con estaciones transportables.



Abajo, representación pictórica del satélite AMSAT Oscar-4. Los satélites han revolucionado la forma de transmitir la información.

LA TEORÍA DE CLARKE

La idea de utilizar un satélite en posición fija respecto a una región terrestre para la comunicación televisiva se atribuye a un artículo de 1945 cuyo autor es Arthur C. Clarke, un inglés experto en radares, convertido en célebre escritor de ciencia ficción.

En octubre de aquel año, en *Wireless World* se publicó un artículo de Clarke en el que demostraba teóricamente la posibilidad de poner en órbita geoestacionaria sobre la Tierra un satélite de telecomunicaciones. «Un satélite artificial, a la distancia correcta de la Tierra –escribía Clarke–, efectuaría una rotación cada 24 horas, es decir, permanecería estacionario sobre el mismo punto y estaría al alcance óptico de casi la mitad de la superficie terrestre. Tres estaciones de repetición, distanciadas 120 grados con respecto a la órbita adecuada, proporcionarían a la televisión y a las microondas una cobertura de todo el planeta.»

La posición relativa de un satélite con respecto a la Tierra está determinada por la altura, la velocidad y la situación de su órbita.

Clarke consideraba que un satélite «aparcado» a 35.786 km sobre el ecuador orbitaría alrededor de la Tierra de tal modo que su posición relativa con relación a la superficie terrestre permanecería constante o «geoestacionaria». En la práctica, los primeros satélites para comunicaciones lanzados en los años cincuenta no eran geoestacionarios, es decir, tenían órbitas de rotación alrededor de la Tierra que los hacían «visibles» desde una estación terrestre durante determinados períodos de tiempo, los cuales se repetían a intervalos definidos. Así, por ejemplo, el satélite Telstar de AT&T, que se utilizó para retransmisiones de televisión a partir de 1962, efectuaba una órbita alrededor de la Tierra cada 157 minutos y sólo podía retransmitir señales TV de una orilla a otra del Atlántico durante 18 minutos



seguidos en cada órbita. El rápido movimiento del satélite hacía necesarias estaciones de transmisión y de recepción muy complejas, de grandes dimensiones (la potencia de emisión del satélite era muy reducida) y de costes muy elevados (se trataba de parábolas móviles de más de 25 m de diámetro).

LOS PRIMEROS PASOS

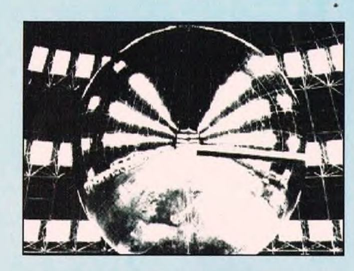
En 1964 se lanzó el primer satélite de comunicaciones colocado en órbita geoestacionaria. Se trataba del Syncom-3. Con 37,5 kg de peso, estaba situado sobre el océano Pacífico, a 180° de longitud, y permitió seguir en directo la Olimpíada de Tokio. En 1965, la International Telecommunication Satellite Organization (Intelsat) lanzó el Intelsat-I, llamado Early Bird, que se posicionó en una órbita sobre el océano Atlántico. El Early Bird tenía una capacidad de 240 circuitos telefónicos o de una sola señal TV en blanco y negro. Estaba dotado de una antena omnidireccional que transmitía a 360°, difundiendo así una gran parte de la señal en el espacio.

A partir de la serie III de Intelsat, lanzada en 1969, las antenas fueron direccionales (apuntadas unidireccionalmente hacia la Tierra). La serie IV, de 1971, tenía antenas de haz puntual *(spot beam)*, capaces de concentrar la señal sobre determinadas regiones del territorio terrestre. En 1969, el Intelsat había colocado tres satélites Intelsat-III en órbitas asignadas sobre las regiones oceánicas del Atlántico, del Pacífico y del Índico.

En esta fotografía del satélite Eco-1, puede verse la gran esfera cubierta de aluminio que era su parte principal. La esfera reflejaba las señales de radio y televisión y las retransmitía a la Tierra. Después del lanzamiento de un satélite análogo en 1964, esta vía se abandonó porque se consideró poco eficaz.

La fotografía de la izquierda presenta el proceso de montaje del satélite de telecomunicaciones estadounidense Eco-1, lanzado el 12 de agosto de 1960 con un lanzador Thor Delta-2. Su órbita tenía el perigeo a 966 km y el apogeo a 2.157 km.

A la derecha, el satélite experimental ATS-6, presentado a la India por la NASA en el marco de un programa que se proponía demostrar la utilidad de los satélites para la difusión de programas educativos en lugares remotos del Tercer Mundo.



Esto era la realización de la idea original de Clarke de un sistema de satélites que circundase la Tierra, de manera que prácticamente todos sus puntos pudiesen acceder a la comunicación vía satélite. A principios de los años setenta, Canadá y Estados Unidos iniciaron sus propios programas para sistemas nacionales vía satélite.

En Europa, una *joint venture* entre Francia y Alemania permitió el lanzamiento de los satélites experimentales Simphonie en 1974 y 1975. Los dos primeros fueron utilizados por muchas organizaciones y países de todo el mundo, entre ellos Francia, Alemania, India, Irán, Costa de Marfil y las Naciones Unidas.

DE LA TELEFONÍA A LA TELEVISIÓN

En una primera fase, los satélites nacionales estadounidenses se utilizaron principalmente para comunicaciones telefónicas de larga distancia; las transmisiones televisivas aparecían sólo esporádicamente. En 1975, un servicio estadounidense de televisión de pago, con menos de 60.000 abonados, anunció que utilizaría un satélite nacional para distribuir sus programas a las redes de TV vía cable de todo el país. El 30 de septiembre



de 1975, Home Box Office Inc. (HBO) distribuyó a redes vía cable afiliadas, de Florida y Mississippi, la retransmisión en directo del encuentro de boxeo, válido para el campeonato mundial de los pesos pesados, entre Muhammad Alí y Joe Frazier.

Poco después, otros servicios se unieron a HBO a bordo del satélite Satcom e iniciaron el desarrollo de miles de redes vía cable en todo Estados Unidos. Mientras HBO organizaba su sistema de distribución vía satélite, la NASA se dedicaba a llevar su satélite experimental ATS-6 a una órbita temporal sobre el océano Índico. Había prestado el ATS-6 a la India como parte del Satellite Instructional Television Experiment (SITE), para mostrar cómo la tecnología de los satélites podía servir para distribuir programas educativos directamente a terminales de comunicaciones distribuidos por zonas del Tercer Mundo.

La noticia del proyecto SITE llegó a oídos de un joven técnico de la BBC TV que vivía en Sheffield (Gran Bretaña). Stephen J. Birkill, un radioaficionado entusiasta, halló el modo de construir los componentes necesarios para recibir las señales del satélite ATS-6. En diciembre de 1975, utilizando una antena de 150 cm, construida a partir del bastidor de una ventana, Birkill interceptó las transmisiones SITE del satélite ATS-6 en Gran Bretaña, a miles de kilómetros fuera de la zona de cobertura prevista para la señal. Su hazaña pionera demostró que una persona privada, con modestos recursos, podía recibir programas de televisión vía satélite directamente en su domicilio.

Poco después, estudiosos estadounidenses como Taylor Howard, profesor de Stanford, y Bob Coleman y Steve Richey, desarrollaron circuitos innovadores para recibir programas de TV desde satélites nacionales estadounidenses y canadienses.

EL USO «DOMÉSTICO»

A finales de los años setenta, artículos como el que publicó *TV Guide* –escrito por Bob Cooper, defensor de la TV vía satélite– informaron por primera vez al público de que los satélites podían retransmitir televisión directamente a los domicilios. Con el desarrollo de los satélites de comunicaciones entre finales de los años sesenta y principios de los setenta, la idea de utilizar los satélites como alternativa a los transmisores terrestres empezó a considerarse seriamente.

La World Administrative Radio Conference (WARC) de 1977 definió un esquema detallado de concesión de puntos de la órbita geoestacionaria y de la correspondiente asignación de frecuencias.

Se asignaron a cada país cinco canales de 27 MHz en una posición orbital específica. La estrategia de los gobiernos europeos signatarios preveía el lanzamiento de satélites nacionales de alta potencia, capaces de retransmitir cinco canales televisivos directamente a los domicilios.

En los años siguientes, algunos países lanzaron satélites de este tipo (Francia: TDF 1-2; Alemania: TV SAT 1-2; Gran Bretaña: BSB-Marcopolo 1-2; Suecia: Tele-X; España: Hispasat 1-2; y la Agencia Espacial Europea: Olympus). Pero, globalmente, el proyecto demostró ser un fracaso, en parte por problemas técnicos de algunos satélites, pero sobre todo por la escasez de la oferta (cinco canales como máximo para cada sistema de satélites nacionales).

Mientras Europa planificaba su política de difusión de la recepción directa vía satélite con lentitud y escasa atención al mercado (desde el WARC-77 hasta el lanzamiento del primer satélite de alta potencia pasaron más de 10 años), en Estados Unidos, la creación de nuevos canales distribuidos vía satélite a las redes por cable locales empezaba a atraer a un público apasionado que adquiría parábolas para la recepción individual.

El éxito de la difusión directa vía satélite en Europa llegó a partir de 1988 con el lanzamiento del primer satélite luxemburgués, el SES-Astra, con 16 canales comerciales. La estrategia del SES se basa en una tecnología consolidada y una oferta amplia y diversificada de canales concentrados en una posición orbital única. Hoy, el sistema Astra distribuye decenas de canales analógicos con cuatro satélites diferentes (1A, 1B, 1C y 1D). En Europa, a mediados de 1994, 16,7 millones de viviendas estaban dotadas de antenas parabólicas orientadas al Astra.

LOS AÑOS SESENTA

El primer satélite de telecomunicaciones fue lanzado por Estados Unidos en 1958: era el SCORE, que difundió un mensaje de felicitación del presidente Eisenhower.
El SCORE se precipitó a la atmósfera casi un mes después de su partida. En 1960 se lanzó primero el Currier, un satélite también estadounidense, capaz de captar señales y retransmitirlas; luego fue el Eco-1, que no era más que una esfera cubierta de aluminio de 166 kg de peso. Desde su órbita reflejaba las señales de radio y televisión y las dirigía a la superficie terrestre. Una segunda esfera de este tipo fue lanzada en 1964 con resultados decepcionantes, por lo que esta vía se abandonó.
En cambio, se obtuvieron buenos resultados con el lanzamiento del Telstar-1 el 10 de julio de 1962, a una órbita inclinada 44,8º respecto al ecuador. Podía gestionar 600 conversaciones telefónicas o un canal de televisión.



A la izquierda, unos técnicos trabajan en el satélite Syncom-3, el primero que se colocó en órbita geoestacionaria: se lanzó en 1964. Su ubicación, exactamente opuesta al meridiano de Greenwich (180° de longitud) permitió cubrir la vasta región asiática.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

LA OBSERVACIÓN DE LA LUNA

ESTRELLAS Y GALAXIAS

ENANAS BLANCAS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

CASIOPEA

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

FORMACIÓN DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

EL LEM

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

LA OBSERVACIÓN DE LA LUNA

El único satélite de nuestro planeta ha estado siempre en el centro de las fantasías humanas. Hoy es posible observarlo con instrumentos al alcance de todo el mundo.



La Luna, desde la Antigüedad, ha ejercido una fuerte influencia en la imaginación de los seres humanos y en particular en sus ideas acerca de la estructura del universo. Exceptuando el Sol, la Luna es el único cuerpo cuyo disco es de un diámetro tal que permite una observación detallada, lo cual es debido, naturalmente, a su proximidad. Ésta es la razón por la que nuestro satélite, con el tiempo, se ha ido convirtiendo en símbolo principal para la expresión de las visiones cosmogónicas.

LOS INICIOS

Las primeras referencias a la Luna se encuentran en algunos descubrimientos que se remontan al hombre de Cro-Magnon. Las incisiones halladas se refieren a las fases lunares; su número hace pensar en un período de observación de unos dos meses.

En el mundo griego, en torno a la polémica que enfrentó a epicúreos y aristotélicos sobre la pluralidad de los mundos, hay que mencionar la escuela pitagórica, según la cual «la Luna es habitable como la Tierra y contiene animales de tamaño mucho mayor y plantas más bellas. En virtud y energía, los animales son quince veces superiores a los nuestros y no producen excrementos; los días lunares son quince veces más largos que los nuestros». El interés y la emoción que provoca nuestro satélite han sido siempre tan intensos que incluso Cicerón (106-43 a.C.), que no estaba particularmente interesado por los problemas astronómicos, declaró que no se podía excluir la presencia de vida en la Luna. También Plutarco (46-120 d.C.) especuló sobre la posible vida lunar en su *De facie in orbe lunae* y Luciano de Samosata (120-200 d.C.) escribió dos relatos fantásticos sobre viajes a la Luna.

Cuando la Luna está presente en el cielo en fase avanzada, su luminosidad dificulta la observación de las estrellas.



Arriba, uno de los primeros mapas lunares después de la invención del anteojo. Se remonta a 1647.

LA LUNA «MODERNA»

Sólo después de la invención del telescopio fue posible estudiar las características morfológicas de la Luna. Nuestro satélite comenzó así a perder las connotaciones mitológicas y simbólicas que le permitían catalizar las aspiraciones y las esperanzas del hombre. En su *Sidereus nuncius*, Galileo, entre otros descubrimientos, anunció que había observado montañas en la superficie lunar. También realizó los primeros dibujos que mostraban que la superficie no era lisa y uniforme, sino que estaba formada por líneas desiguales. En el *Sidereus nuncius* se indican con buena aproximación los mares, las cadenas montañosas y los cráteres principales.

Años después, Newton se sirvió de la Luna para confirmar sus leyes.

MAPAS DE LA LUNA

Pese a los dibujos del *Sidereus nuncius*, Galileo nunca mostró mucho interés por una representación precisa de la superficie lunar. El primer mapa de la Luna fue el de Thomas Herriot; hay que mencionar los trabajos posteriores del padre Scheiner, de Claudio Mellan y sobre todo de Langrenus, que introdujo los términos «tierras» y «mares». Uno de los mapas cartográficos más bellos es el de Johannes Havelke (Hevelius), que tiene en cuenta la libración, el fenómeno que permite observar un 10% de la cara oculta de la Luna. De estos mapas no se ha conservado la nomenclatura, cuya forma actual se basa en los términos ideados por el jesuita Giovanni Riccioli. Este último publicó en 1651 un mapa basado en las observaciones de su alumno Grimaldi. En dicho mapa, los nombres del relieve son los de la geografía terrestre (se habla, por ejemplo, de Alpes y de Apeninos), los de los mares son inventados (mar de la Tranquilidad, mar de la Serenidad, etc.) y los de los cráteres

Antes incluso de la invención de la fotografía, se trazaron mapas muy precisos de la superficie de la Luna, como el que aquí se representa.

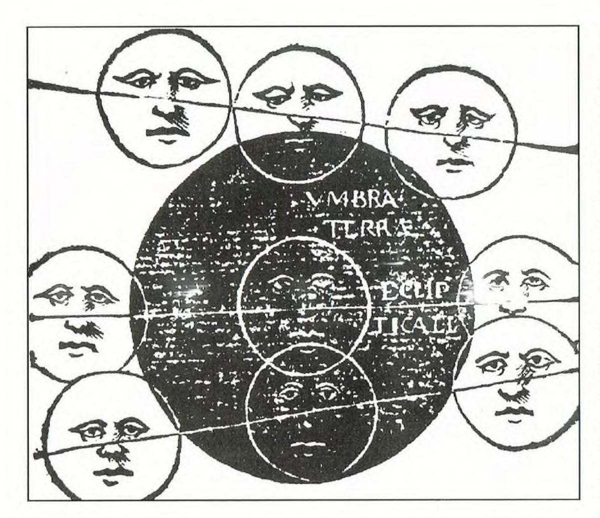


EL NOMBRE Y LA MITOLOGÍA

El nombre de nuestro satélite, la Luna, deriva de una antigua raíz indoeuropea que significa «resplandecer». Luna significa, pues, «la que resplandece». La Luna entró a formar parte de la mitología, que intervino en la evolución de la propia palabra. Adorada en Éfeso como diosa de la fecundidad, tenía cien mamas y recibía el nombre de Diana o Lucina. El término Luna es precisamente la contracción ulterior del término Lucina.

El nombre griego de la Luna tiene orígenes análogos: Selene deriva de *selas*, que quiere decir luz, resplandor, llama. Una divinidad frigia, Men, está en la base del nombre alemán *Mond* y del inglés *Moon*.

La identificación de la Luna con una figura femenina se debe probablemente a su aspecto cambiante con el tiempo, que concuerda con la antigua idea del temperamento femenino como rico en contrastes. La Luna era la responsable de la vida y de la muerte, así como también de la actividad sexual y de los ciclos menstruales. En las culturas agrícolas, su relación con las estaciones la vinculaba al crecimiento de las plantas. Con el paso del tiempo, civilizaciones más avanzadas, como la egipcia, la mesopotámica y la griega, la convirtieron en diosa de la fertilidad.



Dibujo del siglo xvi de tipos de eclipses de Luna, al pasar ésta por la sombra de la Tierra.

corresponden a personajes famosos, sobre todo astrónomos.

Esta nomenclatura, todavía en vigor, ha sido objeto de frecuentes críticas porque los cráteres mayores llevan nombres de amigos de Riccioli, incluso desconocidos. El propio Riccioli se atribuyó un cráter de 160 km de diámetro y Grimaldi tiene uno de 220 km. A Galileo, debido a sus problemas con la Iglesia, se le reservó un cráter de apenas 15 km.

De notable valor estético es el gran mapa publicado en París por Cassini en 1680; las montañas se representan de un modo casi tridimensional y son muy parecidas a las que aparecen en las fotografías modernas. Este trabajo cartográfico fue uno de los mejores hasta el de Schroeter, de la primera década del siglo xix. Pero el mapa de referencia del siglo xix es el de los berlineses Beer y Maedler, en el que figuran más de 7.000 cráteres. En 1878, Julius Schmidt, director del Observatorio de Atenas, publicó un mapa de la Luna con más de 32.000 formaciones lunares. A fines del siglo xix, la cartografía basada en el dibujo cedió paso a la fotográfica. La cartografía más reciente es la de Wilkins, en la que se indican más de 100.000 cráteres; para este mapa de la Luna se ha utilizado el telescopio refractor de 83 cm de Meudon. Las imágenes enviadas por las sondas han permitido cartografiar totalmente las dos caras de la Luna, revelando más cráteres de los que pueden bautizarse con nombres de personajes históricos. Con el desembarco del hombre en la Luna en 1969, se empezaron a utilizar nombres de personajes vivos. Los primeros fueron los tres astronautas del Apolo 11, a los que se dedicó un cráter.

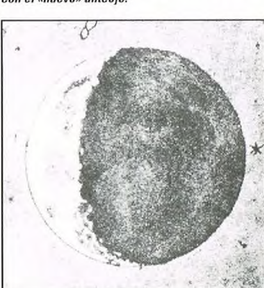
ARISTARCO E HIPARCO

La distancia entre la Tierra y la Luna siempre ha sido motivo de curiosidad para los hombres, que han tratado de medirla con todos los medios a su alcance.

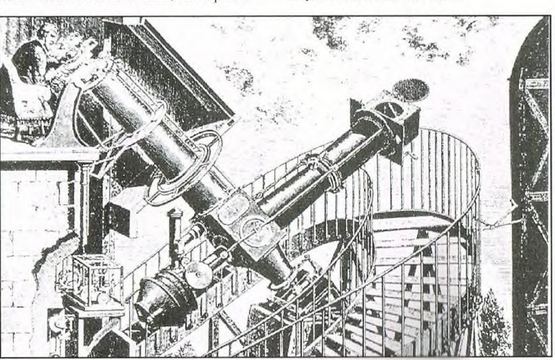
Aristarco de Samos (300 a.C.) fue el primero en dar un valor con fundamento científico, ya que contó 37 diámetros terrestres (en vez de 30, que es el valor correcto). Hiparco (140 a.C.), por su parte, contó 33. Teniendo en cuenta que en torno al 200 a.C. Eratóstenes había calculado un valor de 46.000 km para el perímetro terrestre (en vez de 40.000, que es el valor real), se puede decir que los griegos estimaron bastante bien la distancia que nos separa de nuestro satélite.

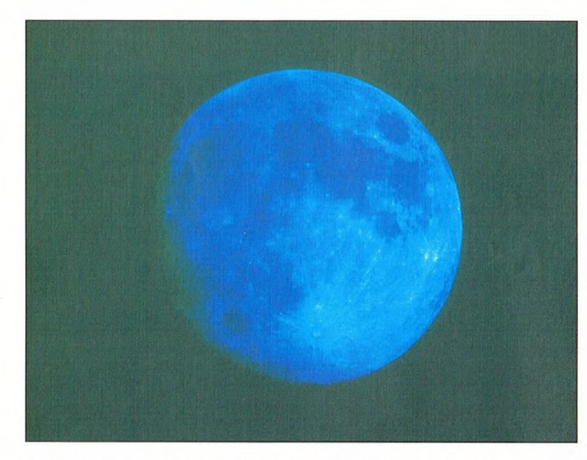
El método de Hiparco era muy ingenioso y simple. Basándose en las medidas de Eratóstenes relativas a las dimensiones de la Tierra y en el tiempo empleado por la Luna en atravesar la sombra de la Tierra

Abajo, uno de los primeros dibujos realizados por Galileo después de haber observado la Luna con el «nuevo» anteojo.



A fines del siglo xix ya se podía fotografiar la Luna con telescopios, como el que se representa abajo, del Observatorio de París.





La observación con unos simples prismáticos permite distinguir correctamente las características principales de la morfología lunar, como los mares y los cráteres.

durante un eclipse, Hiparco dedujo la paralaje lunar, que es el ángulo según el cual se ve el radio terrestre desde la Luna. La distancia obtenida fue sorprendentemente próxima a la real.

Hiparco inventó también un método basado en la triangulación. El astrónomo griego advirtió que la Luna aparecía en distintas posiciones cuando se la observaba desde lugares alejados en latitud. Midiendo la distinta altura de la Luna sobre el horizonte y conociendo la distancia entre los puntos de observación, se puede obtener la distancia a la Luna mediante la realización de un simple cálculo trigonométrico.

Los métodos más modernos se basan en la medida directa de la distancia a partir del tiempo empleado por un haz de ondas electromagnéticas en un viaje de ida y vuelta a nuestro satélite. Tras la segunda guerra mundial se utilizó un haz de radar, que para longitudes de onda de pocos metros era fácilmente reflejado por la superficie lunar. Las medidas más precisas se lograron cuando los astronautas de las misiones Apolo dejaron en la Luna pantallas capaces de reflejar un rayo láser.

OBSERVAR LA LUNA

Debido a su fuerte luminosidad y a su extensión, la Luna es fácilmente observable sin instrumentos grandes ni notables aumentos. Todos los instrumentos darán buenos resultados, y se podrá contribuir útilmente al trabajo de investigación si se observan eventuales cambios en la superficie (los llamados fenómenos lunares transitorios) midiendo los tiempos de ocultación de las estrellas.

ANTEOJOS

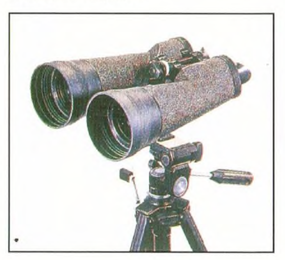
Los anteojos son el instrumento ideal para observar los mares, las cadenas montañosas y los cráteres.

Hay dos tipos fundamentales de anteojos: los galileanos y los prismáticos.

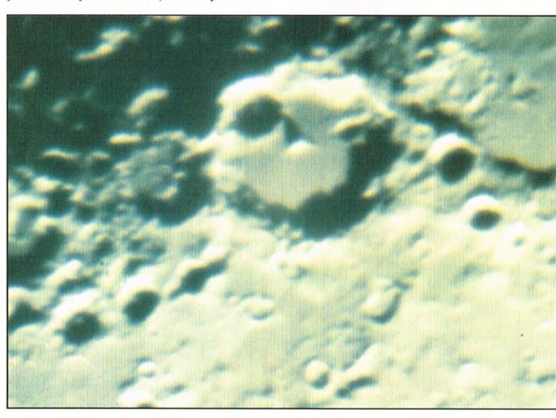
Los anteojos galileanos tienen como ocular una lente divergente y disponen de un aumento generalmente bajo, de no más de tres, pero son pequeños y fáciles de manejar; un ejemplo típico son los gemelos de teatro. Los anteojos prismáticos utilizan lentes convergentes y disponen de prismas para enderezar la imagen.

La pupila humana dilatada tiene un diámetro de unos 7-8 mm; por ello, la pupila de salida de unos anteojos debe ser similar: unos anteojos de 7 × 50

Para obtener imágenes estables con unos anteojos, es preferible montar el instrumento en un trípode fotográfico.



La superficie de la Luna se caracteriza por cráteres de distintos tipos: algunos se encuentran bien dibujados, pero otros están tan fracturados que en algunos casos no se puede determinar su perímetro.





CRÁTERES LUNARES

Uno de los mayores cráteres de la Luna es el Copérnico, observable en el borde del Oceanus Procellarum. El cráter Copérnico, cuyo diámetro es de 90 km, con bordes que se alzan sobre las llanuras hasta alturas de más de 5 km, presenta en el centro una zona montañosa con tres masas de rocas abruptas. Puede observarse bien desde la Tierra, sobre todo cuando está próximo al terminador. Otro cráter importante es el de Tycho Brahe, que se encuentra en un área densamente poblada de cráteres, al sur del Mare Nubium. Con un diámetro de 87 km, posee altas paredes y algunos picos centrales.
Tanto el Copérnico como el Tycho Brahe presentan un complejo sistema de radios de color claro que parten del centro hacia el exterior.

Dada la proximidad de nuestro satélite, es posible observar con detalle desde la Tierra, con un telescopio, algunos detalles de la superficie lunar.

(7 aumentos y un objetivo de 50 mm) tienen una pupila de salida de 7,1 mm, particularmente apta para observar el cielo nocturno. La observación de la Luna no plantea problemas de luminosidad, por lo que se pueden utilizar también otros anteojos, como el de 10 × 50 o incluso el de 8 × 30. Si se sostienen los anteojos con la mano, el límite máximo es de 10 aumentos. De todos modos, es mejor apoyar el codo, pues a partir de estos aumentos la imagen no es estable y bailaría mucho. Si se dispone de trípode (por ejemplo, un trípode fotográfico provisto de un adaptador), se pueden comprar instrumentos más potentes, como el de 12 × 60 y el de 20 × 80, que dan imágenes muy bellas. El precio de estos aparatos, que pueden utilizarse también en otras ocasiones, no es muy elevado.

TELESCOPIOS

Para estudiar con detalle la topografía lunar es necesario un telescopio.

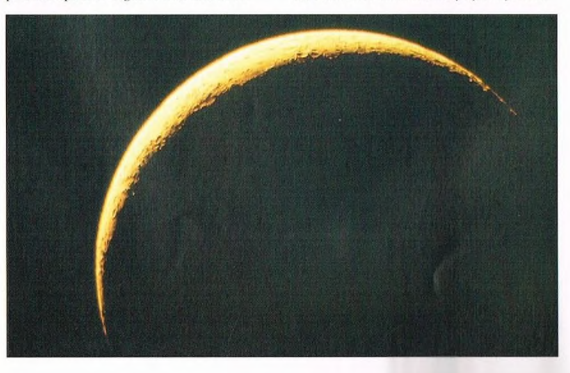
Cualquier telescopio es adecuado, ya sea reflector o refractor. Incluso los de abertura modesta permiten observar detalles muy pequeños y fotografiarlos.

Se pueden obtener buenos resultados con un telescopio de 10 cm de abertura si es reflector y de 5-6 cm si es refractor. Para poder observar la Luna, la distancia focal debe ser bastante grande, diez veces el diámetro del objetivo en el caso de un reflector y el doble en el de un refractor.

FOTOGRAFIAR LA LUNA

La observación visual permite alcanzar el límite máximo de resolución del instrumento, pero si se quiere fotografiar la Luna hay que tener en cuenta dos necesidades contrapuestas. En una instantánea, la imagen es muy nítida y luminosa, la exposición tiene que ser veloz, el tamaño de la Luna será limitado y no se podrá ampliar el negativo más allá de un cierto límite porque se vería el grano de la película. Para obtener una imagen mayor hay que intercalar un ocular entre el objetivo y la máquina fotográfica: ello implica necesariamente exposiciones más largas y mayores vibraciones. En tal caso, hay que adoptar algunas medidas: por ejemplo, con un telescopio de 20 cm de abertura y 2 m de distancia focal, se obtienen imágenes de alta calidad interponiendo un ocular de 6 mm colocado a 7 cm de la película.

Abajo, una sugerente imagen de nuestro satélite, del cual vemos iluminada una pequeña porción.



ENANAS BLANCAS

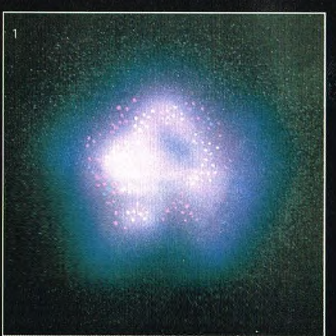
Las enanas blancas son estrellas moribundas. A pesar de sus altas temperaturas, su escasa luminosidad ha impedido durante mucho tiempo observarlas directamente. En su interior la materia se encuentra en estado degenerado.



En el «zoo estelar» existen innumerables tipos de estrellas de todos los tamaños, colores y luminosidades. Pero las más fascinantes son tal vez las estrellas muertas (en el sentido de nuclearmente inertes), probablemente por su naturaleza, básicamente misteriosa, y por el hecho de que su estructura interna difiere por completo de la de las estrellas «normales». Estas estrellas constituyen un laboratorio natural de importancia fundamental para el estudio del comportamiento de la materia en condiciones físicas extremas. Dichos astros son, en orden creciente de masa, las enanas blancas, las estrellas de neutrones y los agujeros negros, y forman la categoría de las estrellas colapsadas, así llamadas a causa de su carácter compacto.

MATERIA DEGENERADA

Hace unos 60 años, dos de los físicos más brillantes de la época, el italiano Enrico Fermi y el inglés Paul A. Dirac, dedujeron unas leyes que permiten





A la izquierda y abajo, fases sucesivas de la evolución de una estrella de pequeña masa. En el dibujo 1 es visible la nube de gas y polvo en la cual se forma el astro por la acción de la fuerza de la gravedad. El colapso gravitacional hace aumentar la temperatura central de la estrella hasta el punto en que se ponen en marcha las reacciones nucleares (2). Luego, la estrella permanece estable durante un largo período de tiempo (3), pero al agotarse el combustible nuclear entra en una serie de fases de inestabilidad que pueden llevar a la expulsión de las capas más externas, que forman una nebulosa planetaria (4). El núcleo remanente (5) es una enana blanca.







describir el comportamiento de la materia en unas condiciones muy distintas de las normales, que constituyen el estado degenerado.

Para los astrónomos, dichas leyes han sido la clave para comprender el origen y la naturaleza de las enanas blancas.

EL DESCUBRIMIENTO DE LAS ENANAS BLANCAS

Al principio, la naturaleza de las enanas blancas fue un auténtico enigma para los astrónomos, si bien se constató que debía de tratarse de estrellas mucho más compactas que las normales. La primera enana blanca identificada y estudiada fue Sirio B, la compañera de Sirio, la estrella más luminosa del cielo. Aplicando la tercera ley de Kepler, los astrónomos lograron determinar que la masa de Sirio B debía de estar comprendida entre 0,75 y 0,95 masas solares. Sin embargo, su luminosidad era muy inferior a la del Sol. Dado que la luminosidad *L* de una estrella depende del cuadrado del radio *R* (además de la temperatura *T*, según la relación $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$), estos datos implicaban necesariamente que las dimensiones de la estrella eran muy reducidas. En 1914, el astrónomo W.S. Adams obtuvo el primer espectro de Sirio B y a partir de él un primer valor de la temperatura del astro (unos 8.000 grados). Combinando el valor de la temperatura con el de la luminosidad, Adams calculó el radio de la estrella, que resultó ser de sólo 18.800 km (en realidad, el radio es unas tres veces menor, aproximadamente 1/100 del radio solar).

LOS PRIMEROS ESTUDIOS

El resultado implicaba, por tanto, el descubrimiento de un nuevo tipo de estrellas. La noticia, obvio es decirlo, provocó una gran conmoción en el mundo astronómico y apareció en los textos oficiales de astronomía. En 1926, el astrónomo Arthur Eddington, en su famoso libro *La estructura interna de las estrellas*, mencionó el descubrimiento de Sirio B con estas palabras: «Hemos identificado una estrella de masa aproximadamente igual a la del Sol pero de radio inferior al de Urano». Eddington relata además otro descubrimiento sobre Sirio B, realizado también por Adams en 1925. Este último había medido la longitud de onda de algunas rayas de emisión identificadas en el espectro de la estrella (todavía no bautizada como enana blanca) y había visto que eran significativamente mayores de lo previsto. El desplazamiento hacia el rojo de las rayas espectrales emitidas por un cuerpo celeste por efecto de la fuerza de la gravedad (desplazamiento hacia el rojo gravitacional) era una de las consecuencias previstas por la teoría de la relatividad general, formulada pocos años antes por Einstein. En particular, según esta teoría, la magnitud del desplazamiento hacia el rojo gravitacional depende del cociente entre la masa *M* del cuerpo y su radio *R*.

Aplicando el procedimiento inverso, Adams calculó el cociente M/R de Sirio B a partir del desplazamiento observado. Como la masa era ya conocida a partir de los parámetros orbitales del sistema binario, el cálculo permitió obtener directamente el valor del radio de la estrella. La estimación, aunque incierta, concordaba con el valor obtenido unos años antes y corroboraba la naturaleza compacta de Sirio B.

UNAS DENSIDADES MUY ELEVADAS

En su libro, Eddington concluye así: «El profesor Adams ha matado dos pájaros de un tiro; por una parte, ha realizado un nuevo experimento sobre la teoría de la relatividad general; por otra, ha confirmado nuestra sospecha de que no sólo puede existir materia dos mil veces más densa que el platino, sino que tal materia está efectivamente presente en el universo».



EL DESPLAZAMIENTO HACIA EL ROJO GRAVITACIONAL

Según la teoría de la relatividad general, un fotón, al ser emitido por un cuerpo masivo, pierde parte de su energía para vencer la atracción gravitacional de éste. Dado que la energía E de un fotón es inversamente proporcional a la longitud de onda λ de la radiación según la relación:

$E = hc/\lambda$

(donde *c* es la velocidad de la luz y *h* la constante de Planck), esta pérdida de energía implica un aumento de longitud de onda. El fenómeno se conoce con el nombre de «desplazamiento hacia el rojo gravitacional». En particular, si el fotón es emitido por una estrella de masa *M* y radio *R*, el aumento relativo de longitud de onda $\Delta\lambda/\lambda$ vendrá dado por:

$\Delta\lambda/\lambda \approx GM/Rc^2$,

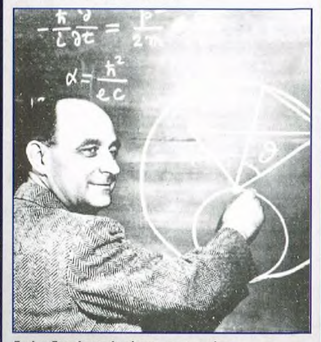
donde *G* es la constante de la gravitación universal. De esta relación es posible deducir, por tanto, el desplazamiento hacia el rojo, para una estrella dada, en función del cociente M/R. Este desplazamiento será tanto mayor cuanto mayor sea la masa y menor su tamaño. Para una enana blanca, por ejemplo, el desplazamiento hacia el rojo gravitacional es cien veces mayor que para el Sol; para una estrella de neutrones (más masiva y compacta) es 100.000 veces mayor.



Abajo, una espléndida imagen de la nebulosa planetaria Helix (NGC 7293), en la constelación de Acuario. La estrella del centro de la nebulosa es una enana blanca que ha generado la propia nebulosa. En la fase precedente de su vida era una gigante roja, que se volvió después inestable.

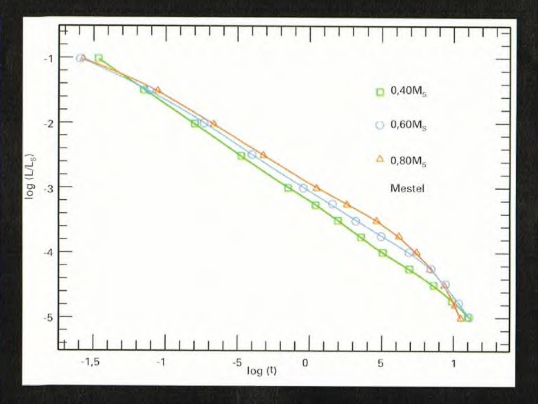
LA ESTADÍSTICA DE FERMI-DIRAC

El comportamiento de la materia en condiciones extremas de densidad y presión fue estudiado en los años treinta por dos de los más importantes físicos del período: el italiano Enrico Fermi y el inglés Paul A. Marie Dirac. Dentro de una estrella colapsada, como una enana blanca, la densidad nuclear es tan elevada que la materia se encuentra en condiciones distintas de las que conocemos. A las elevadas temperaturas del interior estelar, los núcleos sintetizados por las distintas reacciones nucleares están completamente ionizados y, por lo tanto, inmersos en un caldo de electrones libres. A densidades elevadas, como las que se dan en el interior de una enana blanca, la distancia entre los electrones es tan pequeña que los efectos cuánticos son más importantes. En particular, todos los niveles de energía accesibles (los cuales, según la mecánica cuántica, están cuantificados) se encuentran ocupados hasta el valor máximo (energía de Fermi). En tales condiciones, la materia se halla en estado degenerado. Para que aumentara el límite máximo y se dispusiera de otros niveles energéticos que llenar, la distancia entre los electrones debería disminuir. Pero estas partículas no podrían acercarse indefinidamente sin violar el principio de exclusión de Pauli. Llegado este punto, el núcleo estelar se hace incompresible y ejerce una presión hacia el exterior (presión de degeneración) que impide el colapso gravitacional de la estrella.



Enrico Fermi ante la pizarra, en una clase.

Al descubrirse otras dos estrellas de características similares a las de Sirio B, el mismo Eddington escribió que dichas estrellas debían de ser muy abundantes en el universo, pues todas se habían encontrado en las proximidades inmediatas del Sol.



Las curvas indican la evolución de la luminosidad (en unidades de luminosidad solar) de las enanas blancas en función del tiempo (medido en miles de millones de años). Estas curvas se llaman curvas de enfriamiento. Las tres de la figura se refieren, respectivamente, a estrellas de 0,4, 0,6 y 0,8 masas solares. Como se advierte, la luminosidad disminuye de un modo muy regular, independientemente de la masa de la estrella.

Pese a la confirmación de la existencia de las estrellas «enanas», su naturaleza era todavía un misterio. En particular, los astrónomos no lograban entender cómo una masa tan grande como el Sol podía caber en un volumen tan pequeño. Eddington, en su libro, manifestó que parecía probable que la ley de los gases perfectos perdiera validez a estas elevadas densidades y que las enanas blancas no estaban constituidas por gas en estado ordinario. La existencia de materia en un estado «no ordinario», intuida por Eddington en su libro, fue rápidamente confirmada por los desarrollos de la física teórica. El trabajo de físicos y astrónomos en los meses sucesivos sentó las bases para resolver el misterio.

LA NATURALEZA DE LAS ENANAS BLANCAS

En agosto de 1926, Enrico Fermi y Paul Dirac formularon una teoría (la estadística de Fermi-Dirac) que permitía describir el estado de un gas de partículas en condiciones de extrema densidad. El mismo año, gracias a esta teoría, W. Fowler logró explicar el carácter estable de las enanas blancas. Fowler identificó la presión de degeneración de los electrones como el mecanismo que permitía a la estrella aguantar su propio peso y no colapsarse completamente. Los primeros modelos completos sobre la estructura interna de las enanas blancas, en los que se tenían en cuenta también los efectos relativistas en la ecuación de estado de la materia degenerada, fueron obra del físico hindú Chandrasekhar, en 1930. En un trabajo publicado en 1931, Chandrasekhar hizo el importante descubrimiento de que las enanas blancas no pueden tener una masa superior a un cierto límite, cuyo valor exacto depende de la composición química. Este valor límite es de aproximadamente 1,44 masas solares y se llama masa de Chandrasekhar en honor de su descubridor. Dejando aparte la importancia relativa de haber

hallado un valor muy preciso, el descubrimiento de un límite máximo para la masa de una enana blanca ha sido de fundamental importancia para comprender los estadios terminales de las estrellas de distintas masas. El propio Chandrasekhar comentaba así su descubrimiento en un trabajo de 1934: «La vida de una estrella de pequeña masa debe ser necesariamente distinta de la de otra de gran masa. Para una estrella de pequeña masa, el estadio de enana blanca es sólo el paso inicial hacia la extinción total. Una estrella de masa mayor, obviamente, no puede pasar por el estadio de enana blanca».

Las palabras de Chandrasekhar resultaron proféticas. En pocos meses, el descubrimiento de una nueva partícula subatómica, el neutrón, y el estudio de la desintegración nuclear, llevaron a teorizar sobre la existencia de estrellas capaces de sostener masas superiores a las de las enanas blancas en virtud de una mayor presión de degeneración. La hipótesis de la existencia de las estrellas de neutrones fue confirmada al cabo de unos 30 años con el descubrimiento de los púlsares.



La primera enana blanca identificada, a comienzos de siglo, fue Sirio B, la compañera de la estrella Sirio. De luminosidad unas 20 veces mayor que la del Sol (y con una masa doble), Sirio es la estrella más brillante del cielo. Se encuentra a una distancia de unos 8,7 años luz en la constelación del Can Mayor.

EL ORIGEN DE LAS ENANAS BLANCAS

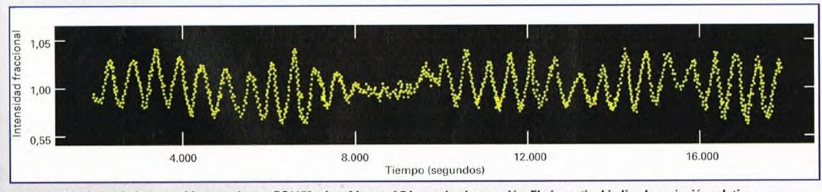
Como el propio nombre indica, las enanas blancas son estrellas enanas. Aunque su masa sea comparable a la del Sol, su tamaño típico es el de un planeta como la Tierra. Su radio es de sólo 1.000-10.000 km, una pequeña fracción del radio solar.

Teniendo en cuenta a la vez la masa y el tamaño, se ve que se trata de una estrella de densidad muy elevada. Un solo centímetro cúbico de materia de una estrella de neutrones (un volumen comparable al de una cucharadita) contiene una tonelada de materia. Esta elevada densidad implica también que el campo gravitatorio de la estrella es notablemente mayor, unas cien veces mayor que el del Sol a igualdad de masa.

Las enanas blancas, como las demás estrellas colapsadas, ya no son activas desde el punto de vista nuclear. Son el resultado del colapso de una estrella de masa inferior a unas 10 masas solares una vez se han agotado todas las posibles reacciones de fusión (del hidrógeno en helio y del helio en carbono). Cuando esto sucede, la estrella sufre un último sobresalto que consiste en la fase de gigante roja. En el núcleo se produce la fusión del helio y en las capas más externas se quema el hidrógeno residual. Cuando también termina la fusión del helio, la estrella atraviesa varias fases de inestabilidad y empieza a contraerse lentamente sobre sí misma. Durante esta fase, el astro se libera de la materia excedente, que es expulsada al espacio en forma de fuertes vientos estelares. Estas enormes masas de gas forman estructuras nebulares características, llamadas nebulosas planetarias. Pero la contracción gravitatoria no es total. La estrella consigue alcanzar una configuración estable. Al estar formada por materia degenerada, no es compresible más allá de un cierto límite

ENANAS BLANCAS PULSANTES

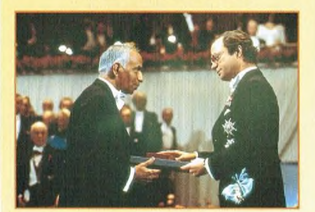
Pese a haber llegado al término de su existencia, las enanas blancas no son exactamente estrellas «tranquilas». Su estructura interna atraviesa fases de reajuste que llevan la estrella a oscilar alrededor de su centro. Estas pulsaciones provocan una variación periódica de la superficie radiante de la estrella y, por tanto, la correspondiente modulación de la luminosidad. Las enanas blancas, en definitiva, se comportan en cierto modo como cefeidas en miniatura. Sus períodos característicos dependen del estado evolutivo de la estrella y varían entre 500 y 2.500 segundos.



Arriba, curva de luz de la enana blanca pulsante PG1159, obtenida con 4,5 horas de observación. El eje vertical indica la variación relativa de intensidad de la estrella y el horizontal el tiempo.

PERSONAJES

SUBRAHMANYAN CHANDRASEKHAR



1910-1995

Subrahmanyan Chandrasekhar ha sido una de las personalidades científicas más importantes en el ámbito de la física estelar. Nacido en Lahore, cuando la India todavía era británica, se doctoró en física en 1933 por la Universidad de Cambridge.
Pese a sus numerosos trabajos, fundamentales en el campo de la física estelar, su nombre está unido sobre todo a los estudios teóricos acerca de las enanas blancas, en los que aplicó con éxito los nuevos principios de la mecánica cuántica.
En 1937 se trasladó a Estados Unidos. Trabajó en la Universidad de Chicago, donde permaneció unos 60 años, y en el Observatorio de Yerkes. A Chandrasekhar se le recordará por su trabajo científico, pero también por su gran contribución a la enseñanza de la astronomía. Muchas de las obras que escribió durante su carrera todavía se utilizan como libros de texto fundamentales para los estudiantes de astronomía de todo el mundo. Entre sus cargos científicos, merece la pena recordar el de director, durante unos 20 años, de la prestigiosa *Astrophysical Journal*, la revista de astrofísica más importante del mundo.

Arriba, Chandrasekhar recibe el premio Nobel de física de 1983 de manos del rey Gustavo de Suecia.

para un determinado valor de la masa y el colapso gravitacional queda inhibido.

CARACTERÍSTICAS DE LAS ENANAS BLANCAS

Aunque en el interior de las enanas blancas no se producen más reacciones nucleares, el núcleo se encuentra todavía a temperaturas enormemente elevadas. Este calor latente se difunde hacia el exterior de la estrella y se irradia al espacio en forma de radiación electromagnética.

ESTRELLAS «DIVERSAS»

Según una opinión muy difundida, las estrellas del cielo difieren en luminosidad, temperatura y tamaño. Esto a veces es cierto. Más a menudo, sin embargo, en vez de hablar de estrellas «diversas», habría que hacerlo de astros en fases distintas de su vida. Una enana blanca y una gigante roja son muy diferentes, pese a lo cual una misma estrella puede pasar por ambas fases en distintos momentos de su evolución. En esta imagen se ve el cúmulo globular M4, en la constelación de Escorpión.

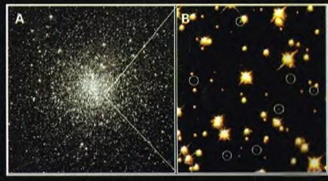
Las enanas blancas, por tanto, tienden a irse enfriando lentamente. De todos modos, las enanas blancas jóvenes están caracterizadas por temperaturas superficiales medias entre 20.000 y 30.000 °C mayores que las estrellas normales. Por ello, estas estrellas enanas son de color blanco, mientras que una estrella como el Sol (5.800 °C) es amarilla. No obstante, aunque su temperatura superficial es muy elevada, su tamaño es muy reducido y por tanto también lo es la superficie radiante. Esto implica que la emisión luminosa sea muy modesta y que se trate de estrellas intrínsecamente muy débiles, con magnitudes absolutas del orden de 12-16.

Las enanas blancas, por consiguiente, son entre 10 millones y 100.000 millones más débiles que el Sol. Dado que la emisión luminosa de la enana blanca se halla ligada exclusivamente al proceso de enfriamiento de la estrella, es lógico esperar que aquélla se vaya reduciendo a medida que la temperatura superficial disminuye.

De todos modos, el tiempo de enfriamiento de las enanas blancas es lo bastante largo como para que la probabilidad de observar un número elevado de ellas sea grande. Ello permite estudiar sus propiedades desde el punto de vista estadístico y situarlas en el diagrama H-R. Como tienen una masa característica muy similar, estas estrellas tienden a ocupar una región muy estrecha debajo de la secuencia principal.

Cuando su temperatura ha descendido por debajo de un cierto valor límite, la enana blanca se vuelve prácticamente invisible y pasa a formar parte de la materia oscura. Se cree que una fracción significativa de los objetos «oscuros» presentes en el halo de nuestra Galaxia (los llamados MACHO, Massive Astrophysical Compact Halo Objects, objetos astrofísicos masivos compactos del halo) está formada por enanas blancas frías.

El telescopio espacial Hubble ha observado recientemente unas 70 enanas blancas en el vecino cúmulo globular M4 (situado a 7.000 años luz). Partiendo de cálculos estadísticos sobre la población estelar del cúmulo, los astrónomos sospechan que M4 contiene no menos de 40.000 enanas blancas. Se trata, pues, de un auténtico «cementerio estelar». La imagen A muestra cómo aparece el cúmulo globular M4 observado con el telescopio de 0,9 m de Kitt Peak, mientras que la B muestra un zoom de las regiones centrales obtenido por el Hubble. Los puntos tenues rodeados de circulitos son algunas de las enanas blancas identificadas en el cúmulo.



CASIOPEA

La constelación de Casiopea, muy fácil de reconocer por su forma de W, ocupa una posición diametralmente opuesta a la Osa Mayor respecto al polo Norte celeste.



Casiopea es una de las constelaciones más conocidas del hemisferio boreal. Sus estrellas se encuentran en una región atravesada por la Vía Láctea.

En esta constelación observó Tycho Brahe en 1572 la explosión de una supernova, que permaneció visible hasta 1574.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

Observemos el cielo y desplacémonos desde el Carro hasta el polo Norte celeste. Una vez allí, prosigamos en la misma dirección y avistaremos cinco estrellas luminosas dispuestas en forma de W o M: habremos encontrado Casiopea.

ESTRELLAS NOTABLES

Alfa (magnitud 2,2), también llamada Schedar, el pecho, es una estrella anaranjada con una compañera azulada de novena magnitud, observable con un telescopio pequeño.

Beta (magnitud 2,3), o Caph, es una estrella blanca que dista de nosotros unos 50 años luz.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

CASIOPEA

Casiopea era la mujer del rey de Etiopía, Cefeo. Según la leyenda, se ufanaba de su notable belleza, así como de la de su hija Andrómeda, también muy agraciada.
Su vanidad llegó al punto de irritar a las nereidas, que eran criaturas del mar. Éstas recurrieron a Neptuno, que asoló las costas del reino de Casiopea, y sólo el sacrificio de Andrómeda, impedido por Perseo, puso fin a la ira del dios.
Como castigo, Casiopea, cuando fue convertida en constelación, fue obligada a girar eternamente alrededor del polo celeste.

Gamma es el prototipo de una clase de variables irregulares; su luminosidad oscila entre una magnitud de 1,6 y una magnitud de 3, con un valor medio de 2,5. Parece que esta estrella, azul y muy caliente, está sujeta a periódicas expulsiones de material, que crean envolturas a su alrededor; la causa de estas expulsiones sería la rápida rotación de la estrella, que haría que el gas del ecuador se desprendiera debido a la elevada fuerza centrífuga.

Delta (magnitud 2,7), conocida también como Ruchbah, es un astro blancoazulado situado a unos 88 años luz de nosotros; su luminosidad disminuye 0,1 magnitudes en 759 días. Como Algol, de la constelación de Perseo, es una binaria eclipsante.



Arriba, el cúmulo M103, descubierto por M. Mechain en 1781. La visión de este objeto es perfecta con un telescopio.

Eta (magnitud 3,4) es una estrella doble cuya compañera (magnitud 7,5) fue descubierta por Herschel en 1779; su período de rotación es de unos 480 años y basta un pequeño instrumento para separar las componentes.

Iota es una estrella múltiple; está formada por tres astros, separables con aberturas de al menos 10 cm; una estrella blanca (magnitud 4,6) con una compañera (magnitud 6,9) a 2,3''; a 7'' se ve el tercer elemento del grupo, de octava magnitud.

R es una variable del tipo Mira *Ceti*; se trata de una estrella roja que en 430 días pasa de magnitud 4,7 a magnitud 13,5, más allá del alcance de unos simples prismáticos.

OBJETOS DE CASIOPEA

Casiopea es rica en cúmulos estelares; entre ellos recordemos M52, que es visible con unos prismáticos, aunque para una observación más detallada se requiere un pequeño telescopio.

M103 también es un cúmulo abierto; contiene menos de un centenar de estrellas en un área del cielo que se extiende a lo largo de una decena de minutos de arco, equivalentes a un tercio del diámetro aparente de la Luna llena.

Un objeto digno de mención es NGC7789, un cúmulo abierto, situado casi a mitad de camino entre las estrellas Rho y Sigma, que abarca medio grado, equivalente al diámetro del disco lunar; se trata de un objeto insólitamente rico, ya que contiene unas mil estrellas, si bien las que están al alcance de los instrumentos de aficionados son sólo un centenar. Su distancia se calcula en unos 6.000 años luz y su edad en torno al millar de años, superior a la media de los cúmulos abiertos.

Casiopea también contiene algunas galaxias, como NGC147 y NGC185, dos galaxias elípticas pertenecientes al Grupo Local de décima y novena magnitud, respectivamente.

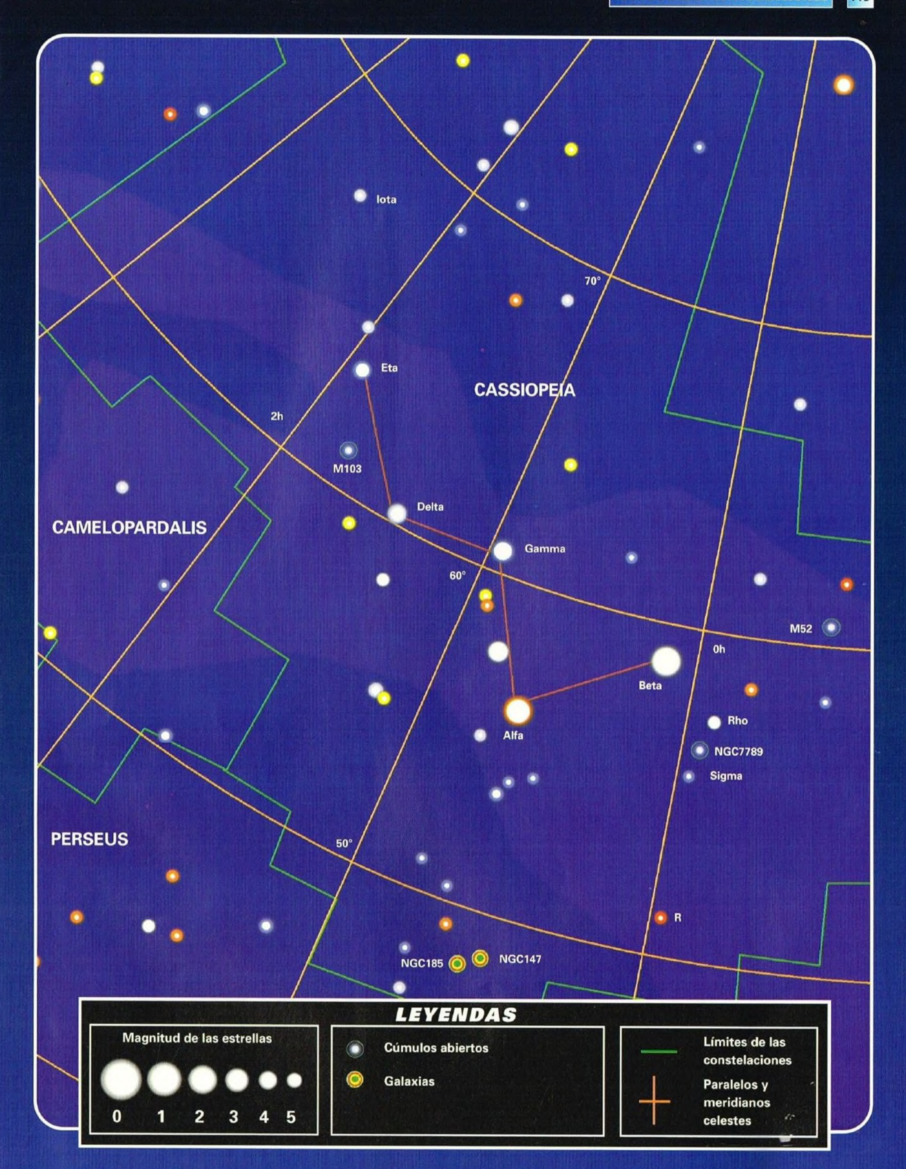


La reina Casiopea, representada en el cielo sentada en su trono.

DÓNDE BUSCARLA

CASIOPEA

Casiopea, como la Osa Mayor y la Osa Menor, forma parte de las constelaciones circumpolares a latitudes como la de España. Por tanto, resulta observable durante toda la noche en cualquier período del año.
A medianoche se presenta en dirección sur en la primera mitad de abril y en dirección norte en la primera mitad de octubre.
Casiopea abarca una región del cielo comprendida entre las 23 horas y las 3 horas 55 minutos de ascensión recta, y entre 41 y 77° de declinación, aproximadamente.


Iota
70°
Eta
CASSIOPEIA
2h
M103
Delta
CAMELOPARDALIS
Gamma
60°
M52
0h
Beta
Alfa
Rho
NGC7789
Sigma
PERSEUS
50°
R
NGC185
NGC147
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos abiertos
Galaxias
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

FORMACIÓN DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS

Se conocen en la naturaleza unos noventa elementos con distintas propiedades químicas, a los que hay que añadir unos quince sintetizados por el hombre. ¿Cuál es el origen de los elementos naturales?

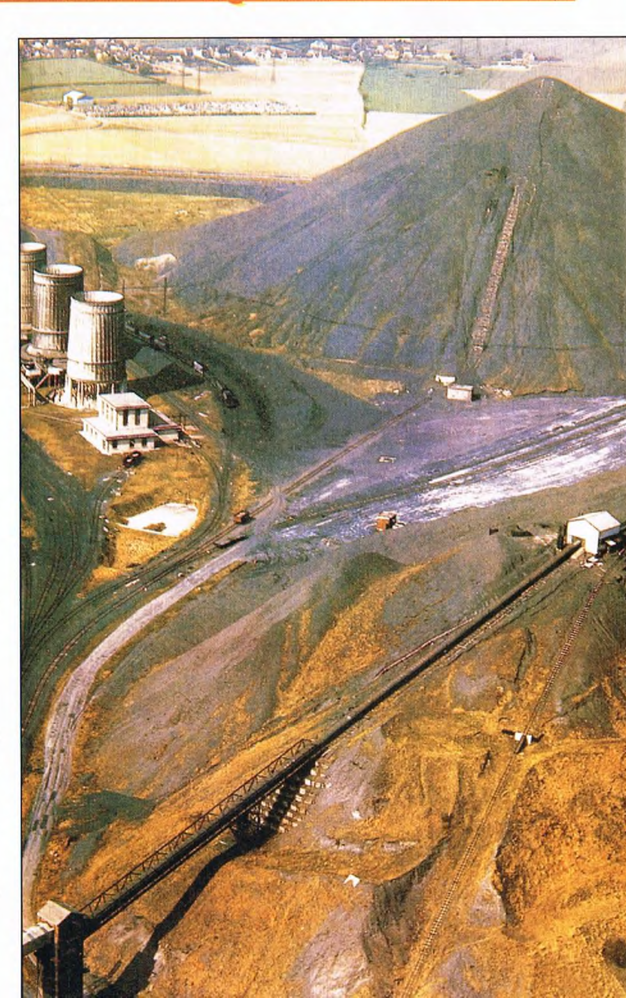
Una diferencia fundamental entre el Sol y la Tierra consiste en que el primero es una fuente de energía, mientras que la segunda no lo es. Pero hay otra diferencia no menos fundamental entre los dos cuerpos celestes más importantes para la humanidad: su composición química.

Frente a un Sol predominantemente formado por hidrógeno y helio, la Tierra muestra una gran variedad de elementos químicos, con un predominio de hierro y níquel en su interior y porcentajes diversos de silicio, manganeso, aluminio y oxígeno en las capas superiores. En su mayor parte, la atmósfera está formada de nitrógeno y oxígeno, mientras que los elementos fundamentales de los organismos vivos son el carbono, el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno. Hay también una gran variedad de elementos presentes en forma de trazas en las rocas, la atmósfera y los organismos vivos.

En los últimos siglos, la química ha permitido identificar unos noventa elementos presentes en la naturaleza y clasificarlos según sus propiedades químicas.

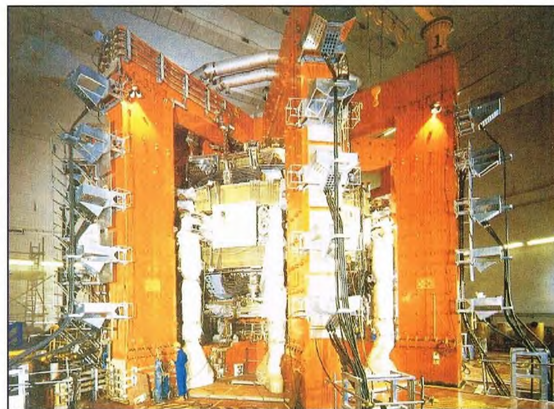
LA SÍNTESIS DE LOS ELEMENTOS

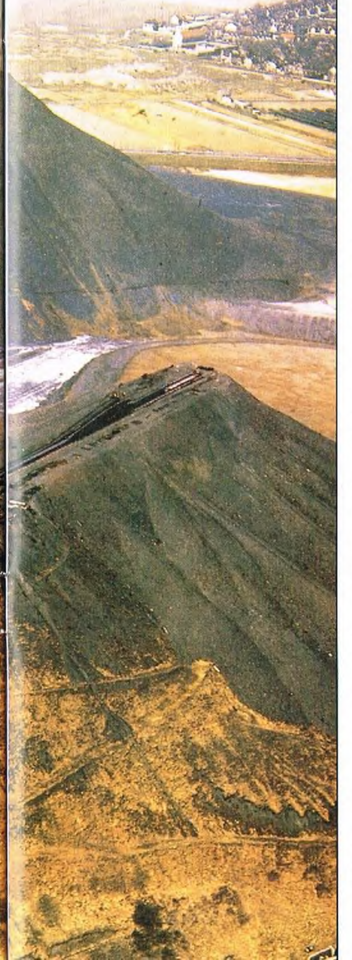
Los mejores modelos para la descripción del nacimiento y la evolución del universo ponen de manifiesto que éste, en el origen, estaba formado casi exclusivamente por hidrógeno y helio, mientras que los elementos más pesados estaban presentes sólo en forma de trazas. El análisis químico de las estrellas muestra que el porcentaje de elementos pesados es sensiblemente superior al que había en el origen del



universo. De ahí se deduce que la composición química del cosmos ha cambiado desde el origen hasta hoy.

Para comprender el fenómeno, hay que buscar la explicación en la gran cantidad de energía que emiten continuamente las estrellas, empezando por el Sol. Sabemos que ninguna reacción química es capaz de explicar este flujo incesante y que sólo las reacciones nucleares permiten dar cuenta





de la luz, el calor y las radiaciones procedentes de las estrellas. Una reacción nuclear consiste en la transformación de uno o varios elementos químicos en otro distinto. Las reacciones que tienen lugar en el interior de las estrellas son de fusión, y en ellas los elementos ligeros se combinan para formar elementos más pesados.

En el Sol, las reacciones transforman el hidrógeno en helio. Éste es el proceso más común en las estrellas, pues requiere condiciones relativamente fáciles de obtener dentro de los astros.

Para poder fusionarse, dos núcleos de hidrógeno deben superar la repulsión debida a su carga eléctrica positiva. El fenómeno es posible si su energía cinética media, esto es, su temperatura, es lo bastante elevada, y si también lo es su presión. Esto puede explicar por qué el Sol está caliente y por qué las estrellas emiten luz, pero no puede dar cuenta de la

En las minas de la Tierra hay capas minerales que contienen los elementos útiles para la fabricación de los bienes necesarios para la vida cotidiana. Nosotros mismos estamos formados por numerosos elementos químicos. Esta gran diversidad nace, en definitiva, de dos únicos elementos, el hidrógeno y el helio, que inicialmente eran las únicas piezas de que estaba hecho el universo. Todos los elementos que conocemos proceden de reacciones nucleares que se producen desde hace miles de millones de años en los núcleos de las estrellas. Actualmente, el hombre puede crear elementos no existentes en la naturaleza por medio de procesos análogos a los que tienen lugar en las explosiones de supernovas.

En los reactores de fusión nuclear se trata de recrear las condiciones para sintetizar helio partiendo de hidrógeno, la misma reacción que se produce en el interior del Sol y de otras estrellas. De momento, sin embargo, la energía que se podrá extraer de tales reacciones en la Tierra será demasiado pequeña como para realizar las reacciones nucleares que llevan a la síntesis de elementos más pesados que el helio.

abundancia de los demás elementos químicos que se observa en la Tierra y, en general, en el cosmos. Deben existir, por tanto, otras reacciones que produzcan los elementos más pesados que el helio.

Las estrellas más masivas que el Sol están dominadas por una fuerza de gravedad mayor en virtud de su masa superior. Por ello, su presión interior será mayor que la que encontramos en el núcleo del Sol; análogamente, la temperatura de sus núcleos podrá alcanzar valores más elevados. Serán posibles reacciones en las cuales los núcleos de helio se fusionen para formar núcleos más pesados y así sucesivamente. En realidad, los modelos de evolución estelar prevén que también el Sol atravesará una fase en la que el helio producirá carbono. Tal cosa ocurrirá dentro de algunos miles de millones de años, cuando se haya agotado el hidrógeno y la fuerza de la gravedad deje de estar contrarrestada por la presión del calor desprendido por las reacciones nucleares. Nuestra estrella sufrirá una compresión que durará hasta que la temperatura y la presión interiores permitan las reacciones de fusión del helio. Entonces, dos núcleos de helio formarán un núcleo de berilio

TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

Los elementos pueden clasificarse según sus propiedades químicas. Se obtiene así un cuadro que los engloba, llamado tabla periódica de los elementos. En ella, los elementos se disponen en orden creciente de número atómico, esto es, del número de protones presentes en el núcleo.

IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIII	VIII	VIII	IB	IIB	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	0	estratos
1 +1 -1 H 1,0079 1		LEYENDAS número atómico: 26 (estado de oxidación: +2 +3) símbolo: Fe peso atómico*: 55,847 configuración electrónica: -8-14-2 * Los números entre paréntesis indican el peso atómico del isótopo más estable del elemento considerado															2 0 He 4,00260 2	K
3 +1 Li 6,94 2-1	4 +2 Be 9,01218 2-2	elementos de transición										5 +3 B 10,81 2-3	6 +2 +4 -4 C 12,011 2-4	7 +1 +2 +3 +4 +5 -1 -2 -3 N 14,0067 2-5	8 -2 O 15,9994 2-6	9 -1 F 18,998403 2-7	10 0 Ne 20,17 2-8	K-L
11 +1 Na 22,98977 2-8-1	12 +2 Mg 24,305 2-8-2						grupo VIII					13 +3 Al 26,98154 2-8-3	14 +2 +4 -4 Si 28,0855 2-8-4	15 +3 +5 -3 P 30,97376 2-8-5	16 +4 +6 -2 S 32,06 2-8-6	17 +1 +5 +7 -1 Cl 35,453 2-8-7	18 0 Ar 39,948 2-8-8	K-L-M
19 +1 K 39,0983 -8-8-1	20 +2 Ca 40,08 -8-8-2	21 +3 Sc 44,9559 -8-9-2	22 +2 +3 +4 Ti 47,90 -8-10-2	23 +2 +3 +4 +5 V 50,9415 -8-11-2	24 +2 +3 +6 Cr 51,996 -8-13-1	25 +2 +3 +4 +7 Mn 54,9380 -8-13-2	26 +2 +3 Fe 55,847 -8-14-2	27 +2 +3 Co 58,9332 -8-15-2	28 +2 +3 Ni 58,71 -8-16-2	29 +1 +2 Cu 63,546 -8-18-1	30 +2 Zn 65,38 -8-18-2	31 +3 Ga 69,735 -8-18-3	32 +2 +4 Ge 72,59 -8-18-4	33 +3 +5 -3 As 74,9216 -8-18-5	34 +4 +6 -2 Se 78,96 -8-18-6	35 +1 +5 -1 Br 79,904 -8-18-7	36 0 Kr 83,80 -8-18-8	-L-M-N
37 +1 Rb 85,467 -18-8-1	38 +2 Sr 87,62 -18-8-2	39 +3 Y 88,9059 -18-9-2	40 +4 Zr 91,22 -18-10-2	41 +3 +5 Nb 92,9064 -18-12-1	42 +6 Mo 95,94 -18-13-1	43 +4 +6 +7 Tc 98,9062 -18-13-2	44 +3 Ru 101,07 -18-15-1	45 +3 Rh 102,9055 -18-16-1	46 +2 +4 Pd 106,4 -18-18-0	47 +1 Ag 107,868 -18-18-1	48 +2 Cd 112,41 -18-18-2	49 +3 In 114,82 -18-18-3	50 +2 +4 Sn 118,69 -18-18-4	51 +3 +5 -3 Sb 121,75 -18-18-5	52 +4 +6 -2 Te 127,60 -18-18-6	53 +1 +5 +7 -1 J 126,9045 -18-18-7	54 0 Xe 131,30 -18-18-8	-M-N-O
55 +1 Cs 132,9054 -18-8-1	56 +2 Ba 137,33 -18-8-2	57* +3 La 138,9055 -18-9-2	72 +4 Hf 178,49 -32-10-2	73 +5 Ta 180,947 -32-11-2	74 +6 W 183,85 -32-12-2	75 +4 +6 +7 Re 186,207 -32-13-2	76 +3 +4 Os 190,2 -32-14-2	77 +3 +4 Ir 192,22 -32-15-2	78 +2 +4 Pt 195,09 -32-16-2	79 +1 +3 Au 196,9665 -32-18-1	80 +1 +2 Hg 200,59 -32-18-2	81 +1 +3 Tl 204,37 -32-18-3	82 +2 +4 Pb 207,2 -32-18-4	83 +3 +5 Bi 208,9804 -32-18-5	84 +2 +4 Po (209) -32-18-6	85 At (210) -32-18-7	86 0 Rn (222) -32-18-8	-N-O-P
87 +1 Fr (223) -18-8-1	88 +2 Ra 226,0254 -18-8-2	89** +3 Ac (227) -18-9-2	104 +4 Rf (260) -32-10-2	105 Ha (260) -32-11-2	106 (263) -32-12-2													O P Q
* Lantánidos		58 +3 +4 Ce 140,12 -20-8-2	59 +3 Pr 140,9077 -21-8-2	60 +3 Nd 144,24 -22-8-2	61 +3 Pm (145) -23-8-2	62 +2 +3 Sm 150,4 -24-8-2	63 +2 +3 Eu 151,96 -25-8-2	64 +3 Gd 157,25 -25-9-2	65 +3 Tb 158,9254 -27-8-2	66 +3 Dy 162,50 -28-8-2	67 +3 Ho 164,9304 -29-8-2	68 +3 Er 167,26 -30-8-2	69 +3 Tm 168,9342 -31-8-2	70 +2 +3 Yb 173,04 -32-8-2	71 +3 Lu 174,967 ± 0,003 -32-9-2			N O P
** Actínidos		90 +4 Th 232,0381 -18-10-2	91 +5 +4 Pa 231,0359 -20-9-2	92 +3 +4 +5 +6 U 238,029 -21-9-2	93 +3 +4 +5 +6 Np 237,0482 -22-9-2	94 +3 +4 +5 +6 Pu (244) -24-8-2	95 +3 +4 +5 +6 Am (243) -25-8-2	96 +3 Cm (247) -25-9-2	97 +3 +4 Bk (247) -27-8-2	98 +3 Cf (251) -28-8-2	99 +3 Es (254) -29-8-2	100 +3 Fm (257) -30-8-2	101 +2 +3 Md (258) -31-8-2	102 +2 +3 No (259) -31-9-2	103 +3 Lr (260) -32-9-2			O P Q

altamente inestable que, sin embargo, podrá dar origen a un núcleo de carbono si choca con un núcleo de helio en un tiempo lo bastante breve. Las condiciones que prevalecen en las estrellas con núcleos de helio son tales que garantizan este proceso. Así, en las partes más centrales un nuevo núcleo de carbono sustituye al precedente.

MÁS ALLÁ DEL HIERRO

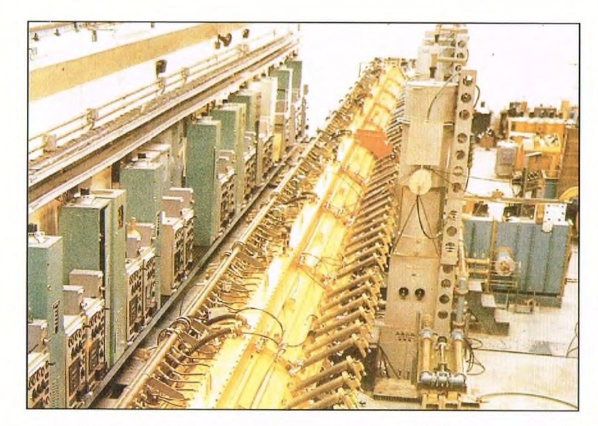
En las estrellas más masivas, las reacciones procederán así: después del hidrógeno se quema el helio, después el carbono, y poco a poco se van formando núcleos más pesados. Eventualmente, la captura de protones o neutrones aislados, con emisión de partículas más ligeras, como los electrones, puede llevar a la formación de otros núcleos más pesados. Pero existe un elemento, el hierro, a partir del cual las reacciones no pueden basarse en este mecanismo. En efecto, mientras que las reacciones que producen hierro o elementos más ligeros liberan energía, y por lo tanto pueden autoalimentarse (como sucede en la llama de un quemador de gas, donde parte del calor sirve para quemar el gas procedente de la bombona o de la red), en las reacciones que utilizan el hierro como combustible sucede lo contrario. Estas reacciones requieren energía para producirse; esto significa que la reacción libera menos energía que la necesaria para desencadenarla y no puede proseguir. La reacción se llama endotérmica, porque absorbe calor, mientras que las precedentes reciben el nombre de exotérmicas, porque lo desprenden.

Falta explicar cómo se forman los elementos comprendidos entre el hierro (cuyo núcleo consta de 26 protones) y el uranio (que tiene 92) y más allá.

Cuando la estrella adquiere un núcleo de hierro, ya no es posible que la fuerza de la gravedad sea contrarrestada por la tendencia a la expansión debida al calor liberado por las reacciones nucleares, por la simple razón de que éstas dejan de producirse. La gravedad podrá actuar entonces sin trabas, provocando una onda de compresión que procederá de la superficie del astro hacia el núcleo. En pocos instantes, esta onda rebotará en la parte más interna y densa de la estrella y regresará a la superficie, donde proyectará al exterior las capas más externas. La energía producida en este proceso explosivo permite la generación de los elementos más pesados que el hierro, hasta el uranio y más allá. Estos elementos se difunden por el espacio que rodea el astro donde se han producido y pueden entrar a formar parte de otros objetos celestes. Éste es el origen de los elementos de que estamos formados, los cuales, generados por una explosión de supernova, quedaron englobados en el sistema solar naciente.

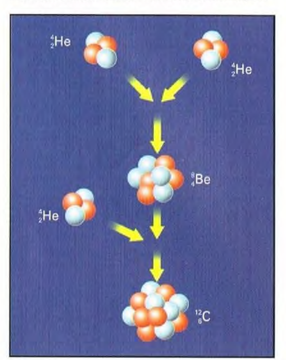


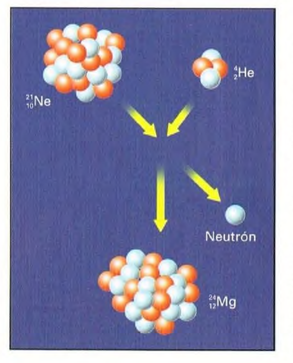
En un quemador se produce una reacción química por la cual dos gases, el oxígeno de la atmósfera y el combustible, se combinan dando nuevos compuestos, generalmente agua y dióxido de carbono. En este tipo de procesos no se crean nuevos elementos, sino combinaciones distintas de los elementos ya presentes en ambos gases. En tal caso, es válida la famosa ley de Lavoisier, según la cual en la naturaleza nada se crea ni se destruye.



Gran parte de los elementos más pesados que el uranio han sido sintetizados por el hombre mediante potentes aceleradores de partículas. En estos dispositivos se hacen chocar núcleos que se fusionan formando nuevos elementos.

Lo que sucede durante la explosión de una supernova es la captura, por parte de los núcleos más pesados, de neutrones que hacen todavía más masivos los núcleos que los han englobado. Sucesivas emisiones de electrones por parte de los neutrones permiten producir núcleos pesados más estables. En realidad, la formación de núcleos más pesados que el hierro se produce ya antes de la explosión de la estrella en supernova debido a la presencia de neutrones generados por otras reacciones nucleares. Con este sistema, no se puede ir más allá del bismuto, que tiene 83 protones. El que en condiciones «normales» no se pueda rebasar el bismuto se debe a que, si un núcleo de bismuto captura un neutrón, el nuevo núcleo emite rápidamente una partícula alfa, esto es, un núcleo de helio, transformándose en un núcleo de titanio, más ligero. Durante una explosión de supernova, en cambio, hay tal producción de neutrones que los núcleos de bismuto pueden capturar bastantes antes de emitir la partícula alfa, por lo que alcanzan situaciones más estables antes de desintegrarse en núcleos más ligeros. También en este caso, la subsiguiente emisión de electrones permite la transformación de los núcleos producidos en otros de igual masa pero dotados de un número de protones mayor.

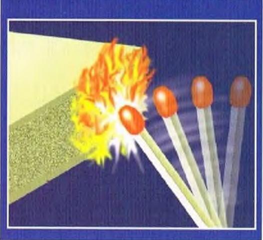




EXPERIMENTO

PROCESOS ENDOTÉRMICOS Y EXOTÉRMICOS

Los procesos físicos y químicos pueden dividirse en dos grandes grupos según que durante su transcurso se emita o absorba energía, generalmente en forma de calor. Se habla de procesos exotérmicos en todos aquellos casos en que hay liberación de energía. Un ejemplo simple es el encendido de una cerilla: las reacciones químicas de combustión desarrollan una gran cantidad de energía que podemos percibir en forma de calor.
Otros procesos, en cambio, requieren energía. Así ocurre con la fusión del hielo y la evaporación del agua, que sustraen calor del medio circundante. Un ejemplo notable es la evaporación de una gota de alcohol, de éter o de acetona sobre la piel; el frescor que inmediatamente sentimos es debido a la rápida evaporación de estos líquidos, que absorben calor de nuestro cuerpo.



Al margen de cuál pudo ser la composición química originaria del universo, la que observamos en la actualidad es el resultado de un complejo proceso de alteración que tiene lugar en los núcleos de las estrellas y en la explosión de los astros más masivos. Estos últimos, además, desperdigan por el cosmos elementos de nueva formación. Muy probablemente, el mundo en que vivimos es el fruto de esta reelaboración del material inicial.

Las reacciones nucleares que generan elementos más pesados que el helio pueden producirse por sucesivos choques entre núcleos de este elemento. Ulteriores choques con otros núcleos llevan a la formación de núcleos todavía más pesados, con la eventual expulsión de partículas como los neutrones.

EL LEM

La conquista de la Luna fue confiada a una pequeña «araña de acero» destinada a aterrizar en el suelo de nuestro satélite. De ella saldrían dos astronautas, después de lo cual se convertiría en una base de lanzamiento para el regreso de los astronautas a la Tierra.



Cuando se planificó la conquista de la Luna, se idearon distintos sistemas para desembarcar a los hombres en nuestro satélite natural y hacerlos regresar a la Tierra.

El que resultó elegido estaba destinado a desembarcar a dos hombres con un «módulo lunar» (LEM), cuya parte inferior fue proyectada para hacer de rampa de lanzamiento en el momento de la partida.

Cuando se tomó en consideración el método de acoplamiento en órbita lunar, los ingenieros del Centro de Investigación Langley estudiaron tres modelos fundamentales de módulo lunar.

Los tres modelos, que pronto tomaron forma, fueron llamados «simple», «económico» y «de lujo».

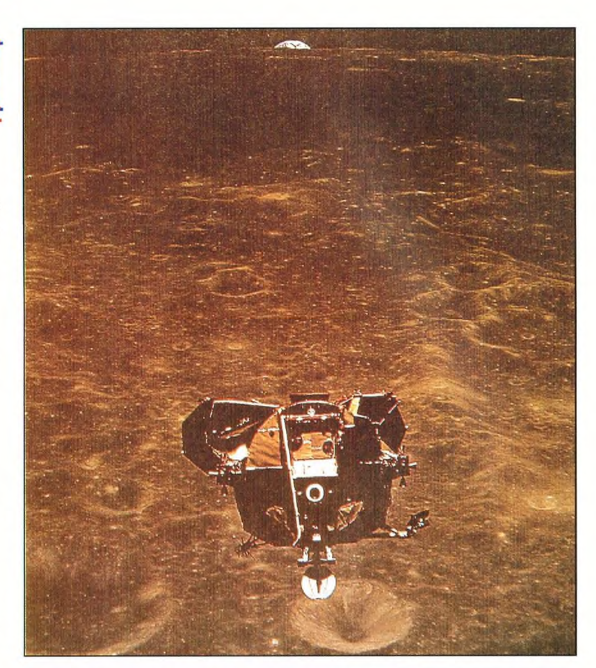
La versión «simple» preveía poco más que un mero vehículo, abierto en su parte superior, capaz de contener a un hombre en traje espacial durante unas cuantas horas. Habría pesado un máximo de dos toneladas.

El modelo «económico», previsto para acoger a dos hombres, habría pesado dos o tres veces más que el anterior, según el tipo de propulsantes utilizado.

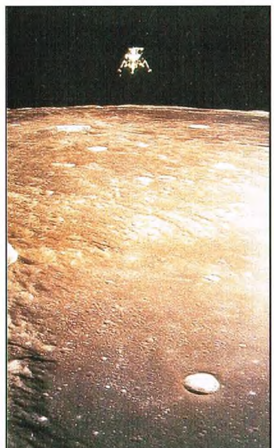
A la postre, el método considerado más seguro fue el «de lujo», que fue preelegido para la misión. En el estadio de propuesta, los técnicos de la Grumman, la sociedad que ganó el concurso de construcción, pensaban en el LEM como en un objeto provisto de doce toneladas de propulsante rodeadas por cuatro toneladas de «estructuras de relojería», como decían ellos, encerradas en una pared de aluminio del espesor de una cáscara de huevo.

Debía tener una altura de 7 m, y, con las patas extendidas, su diámetro debía ser de 9,45 m.

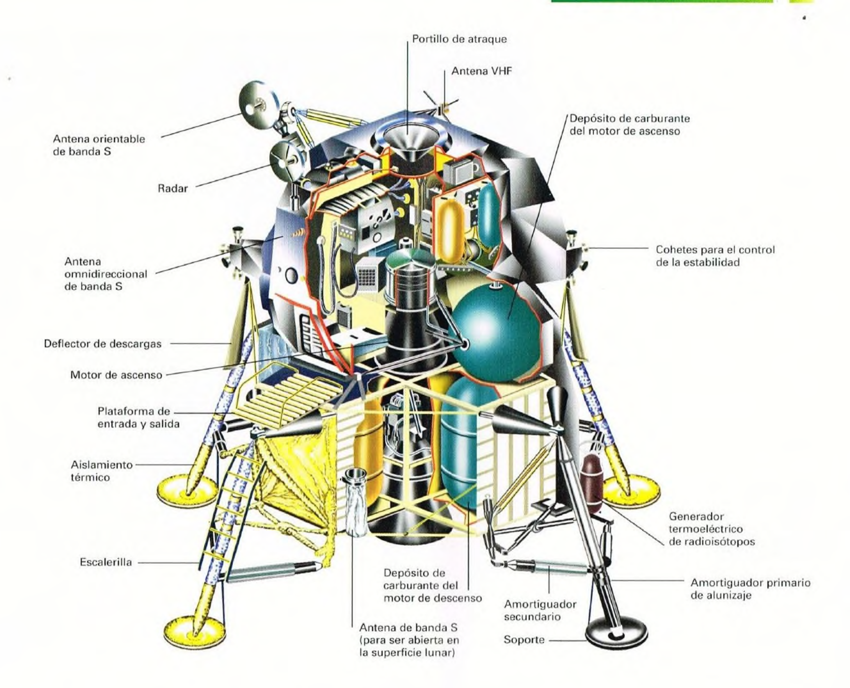
Estaba formado por un millón de partes, sobre todo minúsculos transistores, 64 km de cables eléctricos, dos radios, dos aparatos de radar, seis motores, un ordenador y un equipo de aparatos para realizar experimentos científicos en la Luna. Todo ello debía estar distribuido en dos unidades principales, llamadas de ascenso y de descenso, provista cada una de ellas de su propio cohete.



El LEM del Apolo 10 simula la operación de alunizaje. Al fondo se ve la Tierra a punto de salir.



Fotografía del LEM alejándose hacia la superficie lunar, efectuada desde la cápsula del Apolo 11.



Esquema del módulo de alunizaje (LEM) utilizado en las misiones Apolo.

UNIDAD DE DESCENSO

Estaba formada por la parte inferior del módulo lunar.

Fabricada con una aleación de aluminio, de forma octagonal, con cuatro patas para la amortiguación, contenía las baterías, las reservas de oxígeno y el equipo científico para el descenso y la permanencia en la superficie lunar.

Medía 3,22 m de altura, incluidas las patas, y su diámetro era de 4,29 m, sin contar las patas.

Unas prolongaciones en los extremos de los dos largueros principales suministraban el apoyo del tren de aterrizaje. Una vez que el módulo lunar se encontraba libre en el espacio, las patas eran extensibles. Cada pata constaba de un montante principal, dos montantes de refuerzo, el mecanismo de bloqueo y un patín de apoyo. Todos los montantes llevaban amortiguadores formados por elementos deformables en nido de abeja para absorber los choques del aterrizaje. El tren de aterrizaje anterior, que se extendía bajo la escotilla frontal, llevaba fijada una escalerilla por la cual los astronautas podían acceder a la superficie lunar y volver a subir.

La mayor parte del peso y del espacio de la etapa de descenso estaban destinados a los cuatro depósitos de propulsante y al cohete de descenso, capaz de ejercer un empuje de 4.500 kg.

El motor, construido por TRW Inc., era de un tipo inhabitual en misilística, ya que, manualmente y mediante un calculador electrónico, podía regularse desde un mínimo del 10% hasta un máximo del 94% de su potencia.

El motor quemaba un combustible líquido de hidracina y dimetilhidracina disimétrica, llamada aerocina 50, con tetróxido de nitrógeno como oxidante. El combustible y el oxidante producían la combustión al entrar en contacto, sin necesidad de chispa.

En la misión de aproximación, el motor de descenso debía encenderse para iniciar la caída del módulo lunar desde la órbita de 110 km de altitud. A unos 15.000 m del suelo debía volver a encenderse en otra maniobra de frenado para que el módulo lunar pudiera descender continuamente y reducir su velocidad hasta tocar la superficie con suavidad.

Como el vehículo podía descender verticalmente y permanecer en vuelo estacionario sobre la superficie, los astronautas pilotos de aviones de reacción debían adquirir también las competencias de pilotos de helicóptero.

En el último tramo estaba previsto que los astronautas redujeran la potencia del motor para dejar caer el módulo lunar a una velocidad de unos 90 cm/s. Cinco muelles situados en los extremos inferiores de las patas debían dispararse automáticamente hacia abajo para señalar el primer contacto con el suelo, tras lo cual

los astronautas debían apagar el motor. Concluido el período de permanencia en la Luna, la etapa de descenso debía servir de plataforma de lanzamiento para el encendido del motor de ascenso, destinado a levantar de la superficie la mitad superior del módulo lunar.

El accionamiento de los dispositivos de explosión separaría las dos etapas. La etapa de descenso permanecería en la Luna como recuerdo del primer desembarco humano.

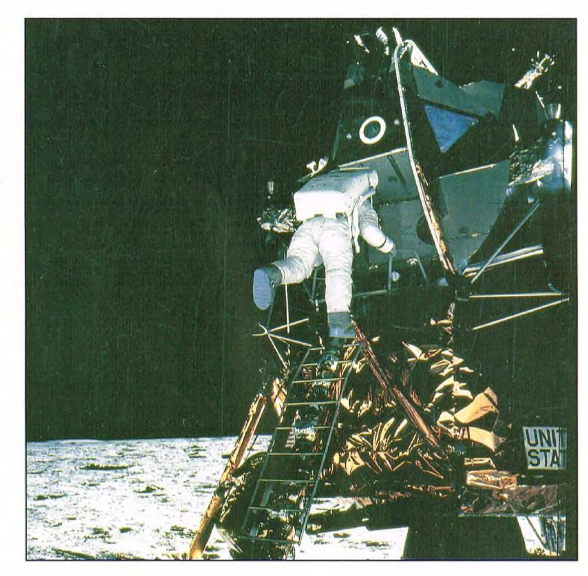
LA ETAPA DE ASCENSO

Estaba formada por la mitad superior del módulo lunar, en la que figuraba la central de mando y la cabina de la tripulación, además del cohete destinado a hacer despegar el vehículo de la superficie lunar.

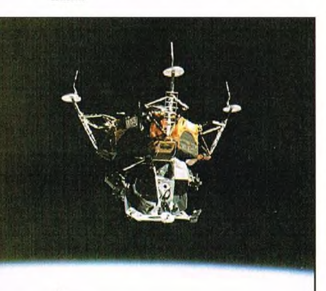
Su altura era de 3,75 m y estaba dividida en tres secciones: el compartimiento de la tripulación, la sección intermedia y la zona de equipos.

El compartimiento de la tripulación, de sólo 234 cm de diámetro, ocupaba la parte anterior de la etapa de ascenso, desde la cual los astronautas podían mirar al exterior a través de dos ventanas triangulares. Para ahorrar peso, no había asientos; los astronautas debían permanecer de pie, sujetos por correas no demasiado estrechas.

Delante y lateralmente se encontraban los paneles de mando para la conducción, las comunicaciones, la regulación del ambiente y los equipos de propulsión. El comandante podía mirar por una ventana situada arriba a la izquierda mientras conducía el módulo lunar durante las maniobras de aproximación y de acoplamiento en órbita con el módulo de mando. A los pies de los astronautas se encontraba la escotilla anterior, de forma cuadrada y con 106 cm de lado, a través de la cual deberían bajar a la superficie de la Luna.



El astronauta estadounidense Edwin Aldrin, el segundo hombre que puso el pie en la Luna, baja por la escalerilla del LEM.



Tanto el compartimiento de la tripulación como la sección intermedia estaban construidos y aislados de tal modo que pudieran ser presurizados al ciento por ciento con oxígeno.

La sección intermedia llevaba muchos de los equipos para las comunicaciones y la conducción. Había incluso un espacio reservado para los contenedores de las rocas lunares que los astronautas habrían llevado consigo de regreso.

En la parte superior de la sección intermedia estaba la escotilla, que tenía 84 cm de diámetro; a través de ella los astronautas debían trasladarse al módulo de mando o realizar la maniobra inversa en el momento en que los dos vehículos se encontraran unidos.

La escotilla superior del módulo lunar se abría a un pequeño conducto que conectaba con la parte anterior del módulo de mando.

Bajo el pavimento de la sección intermedia se encontraba el cohete de ascenso, diseñado para desarrollar un empuje de unos 1.600 kg y para poder encenderse y reencenderse, pero no para suministrar una potencia variable.

El LEM del Apolo 11 se aleja de la cápsula de mando para iniciar el descenso a la Luna.

Bastaba un cohete tan pequeño porque la mayor parte del peso original del módulo lunar, de 14,5 toneladas, se había reducido ya a 4.500 kg debido al abandono del cohete de descenso sobre la superficie lunar.

Además, la débil gravedad lunar –un sexto de la terrestre– no requería una fuerte producción de energía propulsante para levantar la etapa de ascenso.

El motor de ascenso, lo mismo que los 16 pequeños cohetes de maniobra, estaba diseñado para quemar el mismo tipo de combustible líquido utilizado durante el descenso.

Los propulsantes para el ascenso estaban almacenados en dos depósitos esféricos de titanio, dos protuberancias visibles en los flancos de la etapa de ascenso.

La zona de equipos estaba formada por un área no presurizada situada en la parte posterior. Contenía instrumentos para enfriar los aparatos electrónicos del vehículo, el oxígeno para la respiración durante el ascenso y un cierto número de otros componentes que no requerían ningún tipo de presurización.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

FORMACIÓN DE LOS PLANETAS GIGANTES

ESTRELLAS Y GALAXIAS

CÚMULOS ABIERTOS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

DORADA-MESA

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

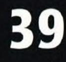
OVNIS

EL USO DEL ESPACIO

EL SIR-C/X-SAR

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO





PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

FORMACIÓN DE LOS PLANETAS GIGANTES

Los mayores planetas del sistema solar son los más alejados. Sus dimensiones se deben a la enorme capa gaseosa que rodea sus núcleos. Su distancia al Sol es una de las principales causas de esta diferencia.

Todos los planetas mayores del sistema solar son gigantes gaseosos. Partiendo de una simple constatación objetiva, se puede comprobar que estos planetas gaseosos están concentrados en las regiones externas de nuestro sistema.

Para explicar la existencia de unos cuerpos tan poco densos, pero con una masa enormemente elevada (la de Júpiter equivale a 318 veces la de la Tierra y a una milésima de la del Sol, y Saturno tiene una masa igual a 95 veces la de nuestro planeta), hay que partir de las teorías sobre el nacimiento y la evolución del sistema solar.

Sin embargo, no disponemos de una teoría válida que explique el valor de estas masas. Probablemente, sus valores se relacionan con la cantidad de materia que orbitaba en torno al Sol poco después de su formación en el seno de la nebulosa protosolar, y con las condiciones físicas que se estaban formando en aquel lugar.



En este fotomontaje se representan las diferentes dimensiones (no a escala real) de un planeta gaseoso y de uno rocoso típicos.



A la izquierda, representación pictórica de la sonda Voyager aproximándose a Júpiter. Esta sonda fue lanzada para estudiar el planeta gigante.

LA NEBULOSA PRIMIGENIA

La primera teoría importante sobre el nacimiento del sistema solar la formuló el filósofo Immanuel Kant, y predecía la existencia de una nube de gas que, al enfriarse, se contrajo mientras giraba cada vez más rápidamente para formar el Sol en el centro y los planetas en el exterior. Pocos años después, Laplace, independientemente de Kant, apuntó la hipótesis de la existencia de una nebulosa inicial de gas y polvo que giraba alrededor de su propio centro, incluso antes de empezar a contraerse. La idea de Laplace era que, durante el enfriamiento, la velocidad angular había llegado a ser demasiado alta para que la nube pudiese permanecer estable, con lo que la materia de las capas más exteriores se había separado formando un anillo que posteriormente dio lugar a los planetas más externos. Según Laplace, con el aumento de la velocidad de la nube en rotación, el proceso habría continuado con la expulsión de otros anillos que formaron los restantes planetas.

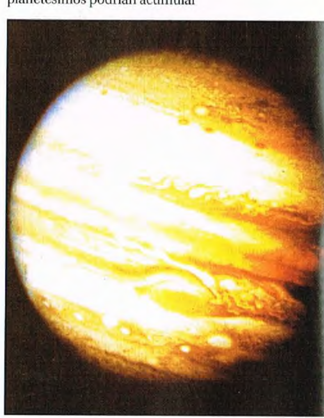
Actualmente, las teorías más acreditadas acerca de la génesis de los planetas del sistema solar parten de la misma idea de fondo: la existencia de una nebulosa inicial de polvo y gas. Los principales modelos que se han propuesto son dos: el de los planetésimos y el del disco inestable, pero ambos todavía presentan problemas para explicar el nacimiento de los planetas exteriores.

TEORÍA DE LOS PLANETÉSIMOS

El primer modelo explica la formación de los planetas partiendo del disco de polvo consecuencia de una acumulación sucesiva: las partículas chocan y se agregan para constituir cuerpos cada vez mayores. Siguiendo esta hipótesis, al término de los movimientos turbulentos iniciales, se formó un disco de muy poco espesor que dio origen a un gran número de cuerpos sólidos con un diámetro de pocos kilómetros: los planetésimos que, posteriormente, a causa de colisiones casuales, formaron otros con un diámetro de unos 500 km que, a su vez, constituyeron el núcleo de los planetas que fueron creciendo a medida que se producían nuevos choques entre estos grandes objetos.

Sin embargo, esta teoría presenta algunos problemas para explicar la génesis de los planetas exteriores gigantes. Estudiando las nebulosas protosolares que hay alrededor de otras estrellas recién nacidas, se ha observado que los materiales que las forman tienden a evaporarse en el espacio interestelar cuando la estrella joven empieza a brillar de manera estable. En general, los tiempos de evaporación oscilan entre los 100.000 y los 10 millones de años. En Júpiter y en Saturno, la presencia de hidrógeno y helio en cantidades similares a las de la nebulosa inicial y a las del Sol reduce el período de formación de estos planetas gigantes al tiempo antes mencionado. Pero, dados los valores de densidad que se aceptan para las regiones externas de la nube inicial, la teoría de los planetésimos prevé un tiempo de formación para los gigantes gaseosos de al menos 100 millones de años. Esta discrepancia sólo puede superarse atribuyendo a las zonas más externas de la nebulosa protosolar una densidad mucho mayor que la que se les supone normalmente. En tal caso, los planetésimos podrían acumular

A la derecha, el planeta Júpiter. Aunque los planetas gigantes pueden parecer completamente gaseosos, en realidad su núcleo es rocoso y podría derivar de un planetésimo.



Como los demás planetas gigantes, Saturno debe su enorme cantidad de gas a la gran distancia que lo separa del Sol. A tales distancias, la presión de la radiación no es suficientemente fuerte.

rápidamente material y llegar a masas equivalentes a más o menos diez veces la masa terrestre en un millón de años. Alcanzadas estas dimensiones, su propia fuerza de gravedad sería lo bastante elevada para atraer rápidamente el hidrógeno y el helio que forman la parte externa de estos planetas.

TEORÍA DE LA INESTABILIDAD

El segundo modelo, alternativo a la teoría de los planetésimos, prevé la formación de los planetas como consecuencia de la inestabilidad del disco inicial de gas y polvo: los materiales que formaban la nebulosa protosolar se habrían fragmentado, generando rápidamente planetas gaseosos. Pero esta segunda hipótesis resulta aún más problemática que la anterior, ya que el proceso de formación de los planetas externos gaseosos requeriría una masa de la nebulosa inicial mucho mayor que la que hoy tiene todo el sistema solar. Para que la teoría resulte plausible, hay que suponer un mecanismo que seguidamente hubiese expulsado el exceso de materia. Las fuerzas de marea causadas por la gravedad, así como la evaporación térmica debida a la presencia de la radiación solar, no son suficientemente intensas para provocar tal resultado.

Una explicación podría derivar de la relación entre las fuerzas gravitatorias del Sol y la de cada uno de los planetas. En general, entre dos cuerpos siempre existe un punto de equilibrio, es decir, un punto en el que las respectivas fuerzas gravitatorias son equivalentes. En las fases iniciales del sistema solar, estos puntos de equilibrio entre el Sol que se estaba formando y los protoplanetas sólo habrían podido encontrarse fuera de los mismos planetas. Con el tiempo, habría ido aumentando la velocidad de contracción hacia el centro de la nebulosa; la masa solar habría crecido y los protoplanetas se habrían acercado gradualmente a las regiones centrales. Esta situación podría haber aportado los puntos de equilibrio en las atmósferas de los planetas en formación. Por tanto, las regiones externas a estos puntos se habrían desgajado a causa de la fuerza de la gravedad del Sol. La eficacia de tal proceso habría sido mucho mayor en el caso de los planetas más internos del sistema, que habrían perdido todas las capas externas gaseosas debido a la presión de la radiación solar, que habría provocado la rápida evaporación de sus atmósferas.

En cambio, los planetas externos no habrían estado lo bastante próximos al Sol y, por tanto, habrían conservado la mayor parte de su material originario.



Detalle de la estructura atmosférica de Saturno. La circulación atmosférica está influida por el calor procedente del interior del planeta.

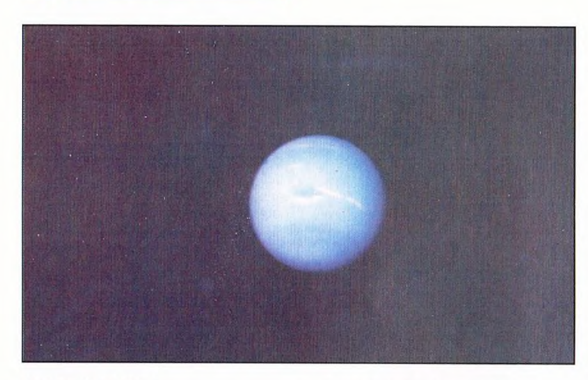


Imagen de Neptuno tomada por la sonda Voyager 2 mientras se aproximaba al planeta. Junto con Urano, probablemente pertenece a una familia intermedia entre los dos gigantes y los planetas de tipo terrestre.

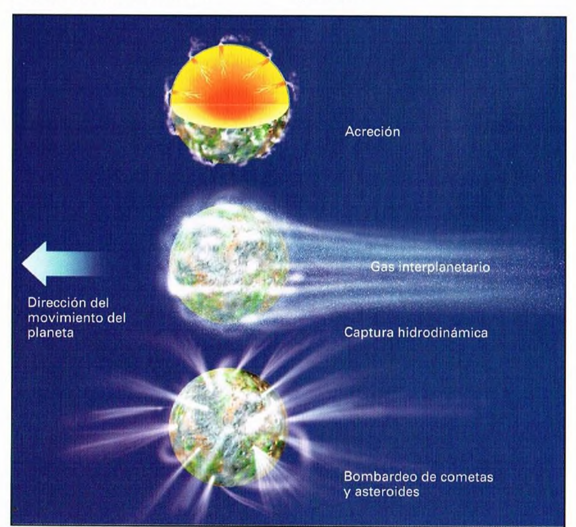
Queda sin explicar por qué Júpiter y Saturno son mucho mayores que Urano y Neptuno. Probablemente, los dos planetas mayores se encontraban en una región de densidad mayor y atrajeron una cantidad mayor de gases, mientras que Urano y Neptuno, que se hallaban en una zona menos densa, se desarrollaron más lentamente y acumularon menor masa gaseosa.

LA FASE T TAURI

La observación de las otras estrellas es muy importante para verificar estos modelos sobre el origen de nuestro sistema solar. El estudio de astros apenas formados ha revelado que, en las fases iniciales, todas las estrellas atraviesan una etapa especial, llamada T Tauri, en la cual emiten una gran cantidad de materia a velocidades muy elevadas.

Durante la fase T Tauri de nuestro Sol, un fuerte viento de partículas barrió los gases presentes en las regiones centrales de la nebulosa y en las atmósferas de los planetas de tipo terrestre, que son los más internos. Los planetas lejanos acusaron en menor medida los efectos de este viento solar y mantuvieron una envoltura de hidrógeno y de helio, gases originarios de la nebulosa protosolar.

En este esquema se representan las diversas fases de la formación de los planetas, debida a la progresiva acreción de materia.



DENSIDADES Y PRINCIPALES CONTENIDOS QUÍMICOS

Los principales contenidos químicos de Júpiter y Saturno son, como ya se ha dicho, similares a los del Sol, y ambos gigantes son los únicos planetas formados en su mayor parte por hidrógeno y helio. Sus densidades también son muy bajas: 1,33 g/cm³ en Júpiter y 0,69 g/cm³ en Saturno. Esto es consecuencia directa de su composición química. La menor densidad de Saturno se debe a su menor masa y, por tanto, a una autocompresión menos acentuada.

La densidad de Urano y Neptuno es casi el doble de la de Saturno, a pesar de que su compresión es menor, ya que la materia

Abajo, detalle de los cirros de Neptuno en movimiento. El color azul se debe a la absorción de la luz por el metano, un gas muy abundante en Neptuno y en Urano.

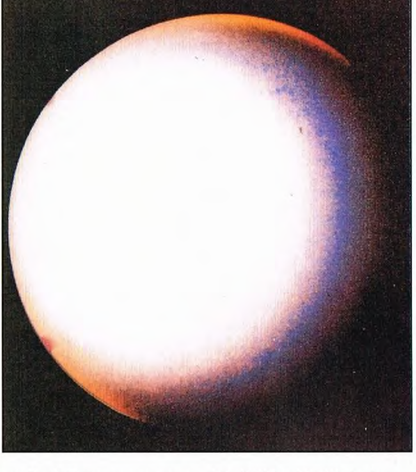


que los compone es más pesada: oxígeno, carbono y nitrógeno, que ocupan los primeros lugares en la escala de contenidos principales del sistema solar. A las bajas temperaturas de las regiones externas del sistema, el oxígeno, el carbono y el nitrógeno se combinan con el hidrógeno para formar agua, metano y amoniaco. En la superficie de Urano y de Neptuno, estas sustancias se hallan en estado sólido, en forma de hielo, mientras que en el interior son líquidas.

Si la escasez de hielo y gases en las regiones internas se explica por las altas temperaturas alcanzadas en las fases iniciales de la formación del sistema solar, la abundancia de hielo con respecto al hidrógeno y al helio en las zonas más allá de Saturno todavía no se ha explicado.

¿DOS CLASES DIFERENTES?

Los últimos estudios hacen pensar que los cuatro planetas mayores del sistema solar, aun teniendo una estructura similar (un núcleo rocoso y sólido rodeado de una gran envoltura gaseosa), pertenecen a dos clases diferentes: por una parte, Júpiter y Saturno, con sus enormes masas y un alto porcentaje de hidrógeno y helio; por otra, Urano y Neptuno, mucho más pequeños y con materiales más pesados. Los dos últimos están en una situación intermedia entre los dos gigantes gaseosos y los pequeños planetas de tipo terrestre, en los que abundan las rocas, los metales y el oxígeno. Esta nueva clasificación no concuerda con los modelos que describen la formación del sistema solar. Según las dos teorías que se han descrito anteriormente, el predominio de elementos ligeros, como el hidrógeno y el helio, debería aumentar gradualmente con la distancia al Sol, causa principal de su evaporación. Pero Urano y Neptuno (que todavía es más compacto) tienen un alto porcentaje de elementos relativamente pesados y una consistente concentración de hielos. Una hipótesis reciente, formulada para explicar esta composición, supone que los hielos de Urano y Neptuno provienen del material que formó también los cometas. Pero esta suposición es aún objeto de un debate abierto.

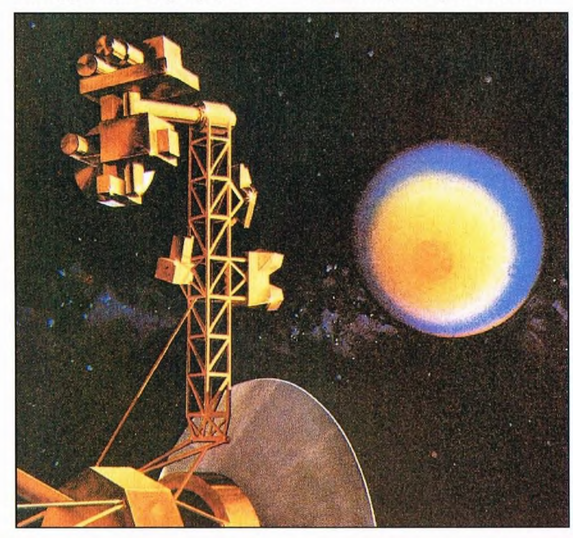


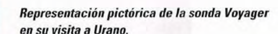
A la derecha, imagen de Urano. A diferencia de Neptuno, no se observan perturbaciones en las capas superficiales, a pesar de que ambos tienen los mismos elementos constitutivos.

EL CALOR INTERNO

Otra diferencia entre las dos parejas de planetas gaseosos es el porcentaje de calor que irradian: en Júpiter y Saturno sólo el 30% de la energía emitida es de procedencia solar; el 70% restante procede de las regiones internas. En Urano y Neptuno, el valor de la energía interna desciende hasta el 30%.

La explicación está en la diferente estructura interna de las dos parejas: el pequeño núcleo de roca y hielo de Júpiter equivale al 4% de su masa total; está formado por la acumulación de los planetésimos y rodeado por una capa de hidrógeno metálico, una región intermedia de hidrógeno y helio moleculares, y la atmósfera. En cambio, Urano tiene un núcleo de hielo y rocas rodeado por una región muy densa de amoniaco, metano y agua a alta presión y, en el exterior, la atmósfera. Además de ser un indicio sobre el nacimiento y la evolución de un planeta, la cantidad de calor interno influye también en toda la circulación atmosférica.





Representación pictórica de la sonda Voyager en su visita a Urano.

CÚMULOS ABIERTOS

Se llaman cúmulos abiertos, o galácticos, los grupos con un número de estrellas comprendido entre varias decenas y varios miles, como las Pléyades o las Híades. Los astrónomos los estudian para reconstruir las etapas de la evolución estelar y para medir la distancia que nos separa de ellos.



Como es sabido, las estrellas tienden a menudo a reunirse en grupos, más o menos numerosos, dentro de las galaxias. Los cúmulos abiertos (que antes recibían el nombre de cúmulos galácticos) son los sistemas estelares más fácilmente reconocibles. Se trata de conjuntos que incluyen entre varias decenas y varios miles de estrellas. Aproximadamente una docena de ellos se pueden observar a simple vista si el cielo está lo bastante oscuro.

Los cúmulos abiertos se presentan como regiones del firmamento con una densidad estelar mayor de la que por término medio nos ofrece la bóveda celeste. A veces, esta densidad es muy evidente (como en el caso de las Pléyades); otras veces lo es mucho menos, de tal manera que algunos cúmulos apenas pueden distinguirse de las estrellas de fondo. Por tanto, para saber si cierto número de estrellas pertenece a un mismo cúmulo y para descifrar si se trata de astros realmente próximos en el espacio o que sólo nos lo parece por algún efecto de perspectiva, es necesario estudiar su movimiento y medir la distancia hasta ellos. Las estrellas que forman parte de un mismo cúmulo tienden a moverse en la misma dirección. Si algunas estrellas aparentemente próximas entre sí se hallan también a la misma distancia del sistema solar, es plausible pensar que la fuerza de la gravedad las obliga a formar un cúmulo abierto.

Abajo, detalle del cúmulo abierto de las Pléyades (M 45), en la constelación de Tauro. Este cúmulo es uno de los más estudiados y uno de los más próximos a nuestro planeta. Seis o siete de sus estrellas se detectan a simple vista.

Arriba, el cúmulo abierto M 11 en la constelación del Escudo. Situado a unos 5.000 años luz, su magnitud aproximada es 6.

CLASIFICACIÓN DE LOS CÚMULOS

Las dimensiones de estos sistemas suelen oscilar entre 6 y más de 30 años luz, con una media de unos 12 años luz. En su interior, las estrellas se distribuyen de manera irregular, sin que definan una forma precisa. Por tanto, las formas de los cúmulos abiertos son muy diversas.

Para poderlos clasificar hay que tener en cuenta varios factores: las dimensiones angulares (que dependen tanto de las dimensiones reales del cúmulo como de la distancia), el número total, la concentración de las estrellas que los forman y la diferencia de luminosidad entre las estrellas más brillantes y las más débiles.

En 1930, el astrónomo estadounidense Robert Trumpler propuso una clasificación basada en estos parámetros. Dividió los cúmulos en cuatro clases, según su concentración, y los designó con cifras romanas de I a IV (I indica los cúmulos de mayor densidad). Luego, dividió cada una de estas clases en tres subclases (numeradas 1, 2 y 3), según la diferente luminosidad de sus estrellas, de tal manera que en la primera incluyó los cúmulos cuyas estrellas parecían tener todas el mismo brillo, mientras que en la tercera colocó los que contenían tanto estrellas gigantes como estrellas débiles. Finalmente, definió otras tres categorías según el número total de estrellas de cada sistema. En la primera (indicada con p, del inglés *poor*, pobre) incluyó los que tenían menos de 50 estrellas; en la segunda (m, es decir, media), los de 50 a 100 estrellas, y en la tercera (r, del inglés *rich*, rico), los de más de 100 estrellas. Por tanto, según esta clasificación, un cúmulo clasificado, por ejemplo, como I3p es un objeto compuesto por menos de 50 estrellas, distribuidas muy densamente y de luminosidad muy variada.



EL CONTENIDO METÁLICO DE LOS CÚMULOS ABIERTOS

Los cúmulos abiertos se caracterizan por su forma y luminosidad, pero también por unos parámetros físicos muy significativos, como el porcentaje de elementos metálicos que contienen sus estrellas. Para los astrónomos, «metales» son todos los elementos químicos de la tabla periódica, aparte del hidrógeno y del helio.
En la tabla que sigue se indican la edad y el contenido de metales de algunos de los cúmulos abiertos más importantes.

Nombre	Edad (en miles de millones de años)	Porcentaje de metales
Híades	0,7	0,032
N 2477	0,7	0,020
N 5822	0,9	0,016
N 2360	1,3	0,017
N 7789	1,6	0,011
N 752	1,7	0,016
N 3680	1,8	0,020
M 67	3,2	0,020
N 6819	3,5	0,014
N 2243	3,9	0,0061
N 2506	4,0	0,0058
N 188	5,0	0,020
Mel 66	6,5	0,0046

(Datos de M. Rowan-Robinson, *The Cosmological Distance Ladder*)

FAMILIAS HOMOGÉNEAS DE ESTRELLAS

Todas las estrellas que pertenecen a un mismo cúmulo abierto tienen una característica importante: son, en cualquier caso, «homogéneas». En realidad, todas nacieron de la misma nube gaseosa y, por tanto, originariamente tenían la misma composición química. Además, puede presumirse que también nacieron aproximadamente en un mismo tiempo, por lo que tienen la misma edad. Las diferencias que presentan en las observaciones actuales con telescopio pueden imputarse a su distinta evolución, que, en gran parte, depende de la masa que a cada una de ellas le cupo en suerte en el momento de su formación. Se sabe que las estrellas de gran masa tienen una vida más breve que las de masa pequeña, ya que evolucionan y consumen su combustible nuclear más rápidamente. En general, los cúmulos abiertos son objetos compuestos por estrellas relativamente jóvenes y, en su mayor parte, se encuentran dislocados en los brazos espirales de la Vía Láctea. En un pasado reciente (y todavía hoy), en estas regiones se produjo una intensa formación de estrellas que se originaron a partir de las grandes nubes gaseosas de hidrógeno molecular que pueblan los brazos. Casos límite son, por ejemplo, NGC 2244, NGC 2264 y NGC 6530, con una edad calculada de unas pocas decenas de millones de años, edad realmente baja para las estrellas. Se conocen pocos casos de cúmulos identificados a una distancia superior a 300 años luz del plano galáctico.

EDAD Y COMPOSICIÓN QUÍMICA

El estudio de los cúmulos (no sólo de los abiertos, sino también de los globulares, más viejos y de mayor densidad estelar) permite a los astrónomos reconstruir la evolución de las estrellas, comparando una muestra formada por estrellas que, aun habiendo sido inicialmente homogéneas, con el tiempo se fueron diferenciando.



Arriba, la Pequeña Nube de Magallanes, una galaxia de forma irregular y satélite de la Vía Láctea. Se halla a unos 200.000 años luz y debe su nombre al célebre navegante Fernando de Magallanes, que vio la Pequeña y la Gran Nube durante sus exploraciones marítimas.

A la izquierda, la Gran Nube de Magallanes. Situadas en las constelaciones de la Carpa Dorada y del Tucán, la Pequeña y la Gran Nube sólo son visibles desde el hemisferio austral.

Las estrellas de los cúmulos abiertos están vinculadas entre sí por la fuerza de la gravedad, a pesar de que tal vínculo no es muy fuerte, de manera que pueden estar sujetas a disgregaciones, pero a lo largo de tiempos bastante dilatados (unos centenares de millones de años). Antes o después, los movimientos aleatorios de cada estrella –debidos a la atracción gravitatoria de otros astros situados en las proximidades– tienden a dispersar el cúmulo. Precisamente por esto es difícil hallar estrellas muy viejas en los cúmulos abiertos. Naturalmente hay excepciones, sobre todo entre los cúmulos más compactos, los cuales, como es lógico, están más cohesionados y, por tanto, alcanzan edades más avanzadas. Entre ellos se encuentra NGC 6791, que contiene unas 10.000 estrellas y al que se le calcula una edad aproximada de 10.000 millones de años. Estos cúmulos compactos siguen órbitas que la mayor parte del tiempo los llevan lejos del plano galáctico. De este modo, tienen menos probabilidades de encontrar las grandes nubes moleculares que, al entrar en colisión con ellos, podrían provocar su disgregación. También se calcula que NGC 188, NGC 2506, Mel 66 y M 67 tienen una edad comparable a la de las estrellas más viejas del disco de la Galaxia.

LOS PRINCIPALES CÚMULOS ABIERTOS

Algunos cúmulos abiertos pueden observarse a simple vista y muchos están al alcance de instrumentos de aficionado. En la tabla que sigue se enumeran diez de los más espectaculares, visibles desde el hemisferio boreal, con una breve descripción. ¡Buena observación!

Nombre	Constelación	Descripción
M 45 (Pléyades)	Tauro	Más de 100 estrellas en unos 2°. Seis estrellas B de magnitud inferior a 5.
M 44 (Pesebre)	Cáncer	Unas 50 estrellas en 70′. Diez estrellas de magnitud inferior a 7.
M 7	Escorpión	Unas 80 estrellas de magnitud superior a 7 en unos 80′ de diámetro.
Híades	Tauro	Más de 100 estrellas en un diámetro de más de 5°. Muchas estrellas entre las magnitudes 3 y 4.
M 6	Escorpión	Unas 80 estrellas de magnitud superior a 7 en unos 20′ de diámetro.
M 47	Popa	Treinta estrellas de magnitud superior a 5 en 25′ de diámetro.
M 35	Géminis	Unas 200 estrellas de magnitud superior a 8 en un diámetro de 25′.
H *Persei*	Perseo	Más de 200 estrellas en 18′.
Ji *Persei*	Perseo	Unas 150 estrellas en 18′. Junto al anterior, forma el «doble cúmulo de Perseo».
M 67	Cáncer	Más de 200 estrellas de magnitud superior a 9 en unos 25′ de diámetro.

Abajo, el cúmulo abierto M 93 en la constelación de la Popa. Sus dimensiones son de unos veinte años luz.



La composición química de las estrellas de los cúmulos abiertos que se encuentran en el disco de la Vía Láctea y cerca del Sol es parecida a la del propio Sol. Sin embargo, hay diferencias de composición en función de la distancia al centro de la Galaxia: cuanto más lejos del centro se encuentra un cúmulo, tanto menor es la cantidad de elementos metálicos que contiene. Naturalmente, como en todas las estrellas, la composición química de un cúmulo depende de su edad. Los astros muy viejos presentan un bajo contenido de metales, ya que se formaron en una época en la que éstos todavía no existían en porcentajes significativos en las nubes de gas y polvo interestelares. Sólo mucho más tarde se formaron metales en el interior de las estrellas. Cuando aquéllas explosionaron como supernovas, los metales fueron liberados en el medio interestelar y, a partir de él, contribuyeron a formar las estrellas de la siguiente generación.

CATÁLOGOS DE LOS CÚMULOS ABIERTOS

Los cúmulos abiertos están enumerados en los correspondientes catálogos astronómicos, que ayudan a los astrónomos a hallar sus características. Entre los principales, cabe mencionar el *Catalogue of Star Clusters and Associations*, de G. Alter, Jaroslav Ruprecht y Vladimir Vanysek. Comprende todas las referencias a cúmulos abiertos publicadas entre 1901 y 1967. Hay también un catálogo editado por el observatorio sueco de Lund, llamado *Catalogue of Open Cluster Data*, que contiene todos los datos relativos a cada cúmulo, incluidas posición en el firmamento, dimensiones, edad, masa y composición química.

Los catálogos de objetos no estelares para los aficionados también incluyen muchos cúmulos abiertos. Por ejemplo, el catálogo de Messier enumera casi treinta (sobre 110 objetos), mientras que el NGC *(New General Catalogue)*, de L.E. Dreyer, cita 347.

Se cree que los cúmulos abiertos conocidos constituyen únicamente una pequeña parte de los que hay en nuestra Galaxia. Probablemente se ha catalogado la mayoría de los que están en un radio de unos 7.000 u 8.000 años luz de la Tierra (un par de miles), aunque se calcula que en nuestra Galaxia hay de 50.000 a 100.000. En realidad, el polvo que puebla el disco de la Vía Láctea, opaco para los telescopios ópticos, oculta a nuestra vista la mayor parte de ellos.

LAS ASOCIACIONES ESTELARES

Un tipo particular de cúmulos es el que recibe el nombre de «asociaciones estelares». Son sistemas que incluyen, sobre todo, estrellas de los primeros tipos espectrales (O y B, las más calientes y luminosas). Se han catalogado más de un centenar,



El cúmulo abierto M 52, en la constelación de Casiopea, es un conjunto de estrellas muy jóvenes, a una distancia de unos 3.000 años luz.

FAMILIAS DE ESTRELLAS

Los cúmulos estelares son algunos de los objetos celestes más estudiados por los astrónomos. Estas verdaderas «familias de estrellas» proporcionan informaciones fundamentales acerca de la formación y la evolución de los astros.

CÚMULOS EN LAS OTRAS GALAXIAS

Hay cúmulos abiertos en todas las galaxias. Sin embargo, mientras que su clasificación (asociaciones, cúmulos abiertos, cúmulos globulares) en la Vía Láctea es bastante fácil, resulta bastante dificultosa cuando se observan las galaxias externas. Por otra parte, los astrónomos consideran que, en las otras galaxias, los cúmulos se pueden formar de manera diferente que en la nuestra.

Por ejemplo, estudiando unos 500 cúmulos estelares de las Nubes de Magallanes, se ha visto que, en algunos lugares precisos, se formaron sólo durante cierto período de tiempo; luego, el proceso se detuvo para reiniciarse en distintos lugares. Esto sugiere que la formación de cúmulos ocurre cuando hay una densidad de gases suficientemente elevada, y que continúa hasta que tal densidad desciende por debajo de un valor mínimo. Es posible que, pasado cierto período de estasis, el proceso de formación vuelva a comenzar incluso en lugares en los que se había interrumpido.

El estudio de los cúmulos de las galaxias externas también proporciona información sobre la distancia de las galaxias que los albergan, ya que las estrellas más brillantes de los cúmulos (o las variables pulsantes, como las cefeidas y las RR *Lyrae*), se utilizan como candelas patrón, es decir, como objetos de luminosidad intrínseca conocida que se compara con los de la Vía Láctea, más próximos. De este modo es posible construir los primeros peldaños –los fundamentales– de la escala cosmológica de distancias.

Abajo, el cúmulo globular M 55, en la constelación de Sagitario. Este tipo de cúmulos tiene una densidad de estrellas mucho más alta que los cúmulos abiertos.



La contemplación del cielo nocturno permite, incluso a los menos expertos, admirar los paisajes estelares.

y sus dimensiones llegan hasta unos 600 años luz. Estos sistemas también tienden a disgregarse en una decena de millones de años.

Existen asimismo otras asociaciones estelares: las de tipo R y las de tipo T. En el primer caso, las estrellas están relacionadas con nebulosas de reflexión (de ahí su nombre), grandes nubes de gas y polvo iluminadas por los astros recientemente nacidos dentro de ellas. En el segundo caso se trata de estrellas de tipo T Tauri, es decir, astros que presentan fuertes líneas de emisión del hidrógeno. Son estrellas de tipo solar que se encuentran todavía en fase presecuencia principal y que pueden situarse en la parte extrema derecha del diagrama de Hertzsprung y Russell.

DORADA-MESA

En las constelaciones de la Carpa Dorada y del Monte de la Mesa se encuentra una de las galaxias satélite de la Vía Láctea, la Gran Nube de Magallanes.



Aunque están formadas por estrellas débiles –la más luminosa es Alfa *Doradus*, de tercera magnitud–, estas constelaciones albergan en cohabitación, por así decirlo, la Gran Nube de Magallanes, la mayor de las galaxias satélites de la Vía Láctea.

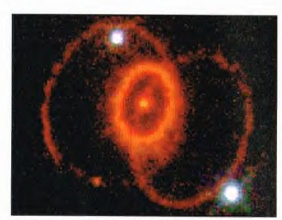
CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

Localizar estas dos constelaciones no es fácil. Puede partirse de Kappa y Delta *Velorum* y trazar un arco de circunferencia hacia occidente de casi 90° para identificar Alfa *Doradus*, después de haber pasado la brillante Canopus en la constelación de la Quilla. Alternativamente, puede partirse de Aldebarán, el luminoso ojo de Tauro, y avanzar 70° hacia el sur, lo que corresponde más o menos a tres palmos y medio teniendo el observador el brazo tendido ante sí.

ESTRELLAS NOTABLES

Como ya se ha dicho, la estrella Alfa de la Carpa Dorada es la más brillante de estas dos constelaciones: tiene una magnitud 3,3 y brilla con una luz blanquiazulada. Beta, en cambio, es un astro que en poco menos de 10 días pasa de la magnitud 3,5 a la de 4,1. Por tanto, es una cefeida, es decir, una estrella similar a la Delta de la constelación de Cefeo.

La estrella más brillante del Monte de la Mesa es Alfa, amarilla, de una magnitud de 5,1, casi en el límite de la detección a simple vista. Otras estrellas de esta constelación son Beta (magnitud 5,3), también amarilla, y Gamma (magnitud 5,2), de color anaranjado.



La supernova 1987A en una reciente fotografía del telescopio espacial Hubble: los dos anillos mayores formarían parte de una estructura «en clepsidra» situada cerca de la estrella que explosionó.

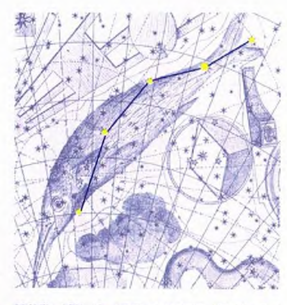
LA GRAN NUBE DE MAGALLANES

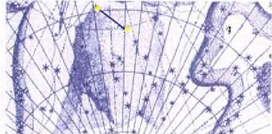
Al igual que M 31, la gran galaxia de Andrómeda, también la nuestra posee dos satélites: las Nubes de Magallanes. La mayor se halla a 180.000 años luz de la Vía Láctea y parece ser que tiene una masa equivalente a la décima parte de ésta. Según algunos estudios, su forma es irregular. En cambio, otros la clasifican como espiral barrada. Perfectamente detectable a simple vista, si se observa con instrumentos de diámetro cada vez mayor nos muestra una gran cantidad de estrellas, cúmulos e incluso nebulosas de hidrógeno ionizado. Una de éstas, conocida con el nombre de Tarántula por su semejanza con el arácnido homónimo, es particularmente luminosa y está catalogada como NGC 2070, o 30 *Doradus*. Contiene un rico cúmulo abierto formado por estrellas azules jóvenes de alta temperatura.

La Gran Nube de Magallanes contiene muchas variables de tipo cefeida. Gracias a los estudios efectuados con variables presentes en esta galaxia, la astrónoma Henrietta Leavitt consiguió descubrir la existencia de las cefeidas, medir sus períodos de pulsación y utilizarlas como «candelas estándar» para el cálculo de las distancias extragalácticas.

LA SUPERNOVA DE 1987

En enero de 1987, en la Gran Nube de Magallanes, cerca de la nebulosa Tarántula, explosionó una supernova detectable a simple vista durante varios meses. La comunidad astronómica siguió el acontecimiento con todos los instrumentos disponibles. Por fin pudieron seguirse las trazas de los detectores de neutrinos para descubrir si había habido emisión de partículas de este tipo en correspondencia con el supuesto instante de la explosión. Se detectó el paso de un enjambre atribuido a este acontecimiento catastrófico.





La Carpa Dorada y el Monte de la Mesa se introdujeron en los siglos XVI y XVII.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

CARPA DORADA-MONTE DE LA MESA

Estas constelaciones no están asociadas a ningún mito porque su introducción es relativamente reciente. En algunos atlas históricos, la Carpa Dorada se representa como un pez espada, con el nombre de Xiphias.
El Monte de la Mesa se debe a Lacaille, que quiso recordar la montaña que hay junto a Ciudad de El Cabo, desde donde observó los cielos australes.

DÓNDE BUSCARLAS

CARPA DORADA-MONTE DE LA MESA

Ambas constelaciones son visibles a medianoche en dirección sur, en diciembre, pero no desde latitudes medias septentrionales.
La Carpa Dorada puede localizarse entre las 3 horas 50 minutos y las 6 horas 35 minutos de ascensión recta, y entre –48 y –70° de declinación.
Monte de la Mesa abarca una región comprendida entre las 3 horas 35 minutos y las 7 horas 40 minutos de ascensión recta, y entre –70 y –85° de declinación.

PICTOR

Gamma

Zeta

Alfa

DORADA

Beta

RETICULUM

VOLANS

Eta

Delta

-60°

Supernova 1987A

NGC 2070

7h

6h

5h

MESA

Beta

-70°

Alfa

4h

Eta

Gamma

3h

HYDRUS

-80°

2h

LEYENDAS

Magnitud de las estrellas

0 1 2 3 4 5

Supernova

Nebulosa
de emisión

Límites de las
constelaciones

Paralelos y
meridianos
celestes

OVNIS

¿Existen realmente los extraterrestres? Si es así, ¿de dónde provienen? ¿Han llegado alguna vez a la Tierra? En realidad, no hay ninguna prueba cierta de que los objetos volantes frecuentemente avistados en nuestro espacio sean el resultado de una tecnología extraterrestre.



Entrada del Roswell International Ufo Museum. Este museo recoge muchos testimonios de avistamientos.



En las últimas décadas, la cuestión de los ovnis ha sido una de las más debatidas, debido, seguramente, al halo de misterio que los envuelve y a la fascinación que ejercen en la opinión pública. Pero ¿qué son en realidad los ovnis? ¿Objetos reales o simples ilusiones ópticas? De ser reales, ¿constituyen verdaderamente la prueba de presencias extraterrestres en nuestro planeta, o se trata de naves aéreas experimentales y secretas construidas con fines militares? ¿Se trata de simples fenómenos atmosféricos o son alucinaciones? Los que afirman haberlos visto ¿son enfermos mentales, falsarios o personas con buena fe? Hallar una respuesta a estas preguntas no es fácil, pero, en cualquier caso, el problema ha de afrontarse con el más puro espíritu científico.

EL PROBLEMA OVNI

Algunas de las preguntas más recurrentes que se dirigen a un astrónomo profesional al término de una conferencia para el gran público, dedicada quizá a ilustrar temas complejos, como la evolución estelar o la cosmología, se refieren indefectiblemente a los ovnis. ¿Existen los ovnis? ¿Qué son los ovnis? ¿De dónde provienen?



Detalle de una sala del museo de Roswell. La mayor parte de la exposición consiste en paneles.

Dar una respuesta convincente no es fácil; casi podría decirse que es imposible, al menos para satisfacer a los ocasionales interlocutores. El astrónomo, por su propia naturaleza, tiende a enfrentarse a este tipo de preguntas con la actitud racional del científico y a dar una respuesta basada rigurosamente en la realidad física de los hechos. Sin embargo, estas respuestas chocan casi siempre con la susceptibilidad emocional de los que hacen las preguntas. A pesar de que la ciencia demuestra con la fuerza de las cifras que eventuales contactos con civilizaciones extraterrestres resultan extremadamente improbables, son muchos los que piensan que inteligencias extraterrestres visitan, o han visitado en el pasado, nuestro planeta. En los 50 últimos años, la difusión del fenómeno ovni ha alimentado esta convicción, y la palabra misma se ha convertido, al menos para buena parte del público no profesional, en sinónimo de astronave extraterrestre o de platillo volante.

LOS PRIMEROS AVISTAMIENTOS

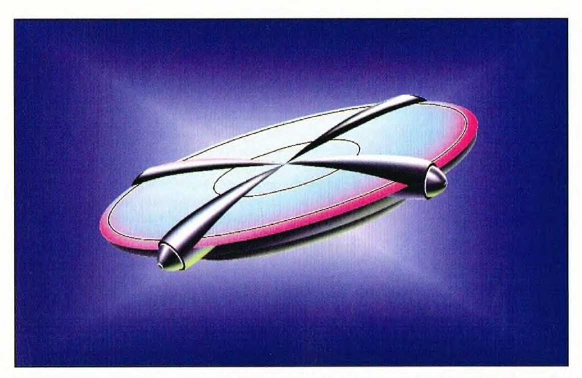
Los primeros avistamientos de objetos volantes no identificados que se documentaron con cierto rigor se produjeron en la inmediata posguerra. Uno de ellos ocurrió en 1947 y es célebre porque constituye el inicio de la moderna casuística ovni. Protagonista de la experiencia fue un piloto de la aviación de Estados Unidos, el comandante Kenneth Arnold. Durante un vuelo normal de reconocimiento, señaló el avistamiento de un ovni que hacía extrañas piruetas en el

EL SIGNIFICADO DE LA PALABRA OVNI

Para la mayoría de las personas, la palabra ovni está asociada a las fantasmagóricas astronaves pilotadas por extraterrestres todavía más fantasmagóricos. Pero las cosas no son así. En principio, la palabra ovni no es más que el acrónimo de «objeto volante no identificado» y equivale a la expresión anglosajona UFO (Unidentified Flying Object). Esta sigla, de difusión internacional, se utiliza en el argot de los pilotos y controladores de radar, tanto en la aeronáutica civil como en la militar, para indicar el contacto radar o visual con un objeto volante de origen desconocido. Nada más. Un ejemplo: cualquier avión privado que invadiese el espacio aéreo de un aeropuerto y que no fuese identificado como un vuelo normal de línea o no se identificase por radio se consideraría automáticamente un ovni (o UFO), a pesar de no tener nada de extraterrestre. Una vez identificado como un avión de turismo con un piloto desprevenido, sería declarado IFO (Identified Flying Object).

Reconstrucción del impacto de un ovni en la región de Roswell. La leyenda dice que a bordo había extraterrestres.





Hay diversos dibujos y fotografías de platillos volantes, como el que se muestra en la figura. Generalmente, la tipología de estos objetos es la misma.

cielo alrededor de su avión, unas piruetas imposibles para los aviones de la época. Desde aquella fecha, los casos de avistamientos de ovnis se han multiplicado desmesuradamente, no sólo en Estados Unidos, sino en todo el mundo, alcanzando unas proporciones tan preocupantes que obligaron al gobierno de Estados Unidos a crear, en los años cincuenta, una comisión especial de investigación conocida con el nombre en código de Blue Book Project (Proyecto Libro Azul).

Evidentemente, la aparición del fenómeno ovni debe encuadrarse en su propio período histórico. Los primeros años cincuenta coincidieron con el inicio de la guerra fría, lo que sin duda contribuyó a crear en el pueblo estadounidense un estado de aprensión constante y de psicosis del «enemigo». Al principio, una de las explicaciones más probables que podía darse a los avistamientos de ovnis en el cielo de Estados Unidos es que se trataba

TIPOS DE AVISTAMIENTOS

Según las estadísticas, hay tres categorías o tipos principales de avistamientos de ovnis. Avistamientos del primer tipo: el testigo observa en el cielo un objeto volante luminoso de naturaleza desconocida. Avistamientos del segundo tipo: el testigo tiene la posibilidad de ver el objeto a una distancia de unas decenas de metros y observar las huellas que deja en el suelo. Avistamientos del tercer tipo: el testigo tiene un contacto directo (visual o físico) con los ocupantes de la astronave.

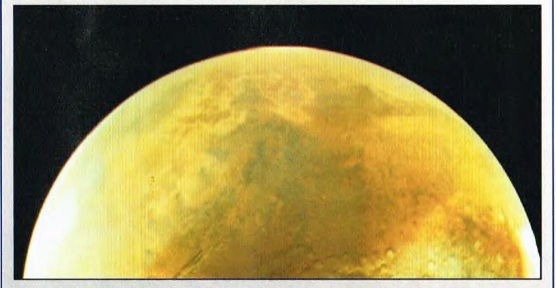
Fotografía de un ovni, de hace varios años. En estas imágenes es muy difícil saber las dimensiones reales del objeto fotografiado.

de naves aéreas secretas y experimentales de la Unión Soviética. Además, esta época coincidió con el comienzo de la carrera espacial, la construcción de los primeros satélites experimentales y los primeros vuelos orbitales. Estos sucesos hicieron que la opinión pública dirigiera su atención hacia los viajes espaciales. También el cine de ciencia ficción de aquel entonces, que inevitablemente presentaba a los extraterrestres como malos, amenazadores y dispuestos a invadir nuestro planeta, tuvo un papel de primordial importancia en la difusión entre el gran público de la psicosis ante los extraterrestres.

Un claro ejemplo de cómo la literatura de ciencia ficción pudo provocar este temor en la gente se dio en los años treinta con la famosa transmisión radiofónica de Orson Welles.

INVASIÓN DE MARTE

En algunos casos, la idea de que criaturas extraterrestres podían hallarse muy cerca de la Tierra produjo tales niveles de psicosis que causaron fenómenos de histeria colectiva. Sigue siendo célebre un episodio ocurrido en Nueva York la noche del Halloween de 1938. En aquella velada, Orson Welles, el célebre director de cine, decidió transmitir un drama radiofónico basado en la novela *La guerra de los mundos* de H.G. Wells, que narra la invasión de nuestro planeta por criaturas procedentes de Marte. Pero la adaptación radiofónica se hizo de tal modo que parecía ser el reportaje en directo de un suceso real. El resultado fue rotundo. Mucha gente creyó realmente en una invasión marciana y se lanzó a las calles presa del pánico y buscando el modo de escapar.

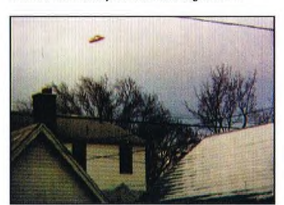


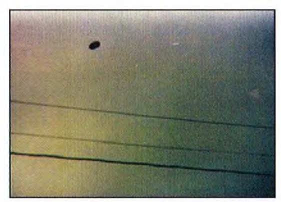
Fotografía de la superficie de Marte, el planeta del sistema solar más parecido a la Tierra. Estudios muy recientes han sugerido que, en el pasado, pudo albergar formas de vida elementales.

LA CASUÍSTICA OVNI

La casuística de los avistamientos de ovnis es interminable y ocuparía decenas de libros. Generalmente, puede dividirse en dos grupos principales. El primero incluiría los simples avistamientos de objetos o cuerpos luminosos sin mejor identificación, para los cuales hay una prueba objetiva (contacto radar) o subjetiva (contacto visual), proporcionada por testigos oculares, casi siempre con la mayor buena fe. El segundo grupo lo formarían los presuntos avistamientos de astronaves extraterrestres y los contactos directos con los ocupantes. Naturalmente, estos últimos casos son más delicados y requieren un fino espíritu crítico.

Abajo, algunas fotografías de presuntas astronaves extraterrestres. En la mayoría de los casos, estas imágenes han demostrado ser hábiles fotomontajes o trucos fotográficos.









La mayor parte de estos avistamientos parece seguir algunas tipologías características. En primer lugar, el testigo, que generalmente prefiere seguir en el anonimato, suele hallarse solo en el momento del avistamiento de la astronave y del presunto extraterrestre. Por otra parte, casi siempre es una persona que vive en una región aislada, tiene un bajo nivel cultural, no lee los periódicos, no ve la televisión y, por tanto, no está al corriente del problema ovni. Así pues, su testimonio tiene credibilidad porque no está influido por factores externos. Además, en la mayor parte de los casos, el contacto ocurre según unos cánones muy precisos. Por lo general, la proximidad de la astronave provoca un malestar más o menos prolongado, debido, según la interpretación «oficial», a las radiaciones emitidas, verosímilmente, por un motor nuclear. Otra constatación: las astronaves tienen casi siempre la misma forma: la de un disco volante.

Pasemos ahora a sus ocupantes. Casi nunca están animados por malas intenciones; más bien es el propio testigo quien, atemorizado por su presencia, quiere tirotearles, aunque sin conseguir herir o matar a ninguno de ellos.

EL CASO ADAMSKI

Uno de los casos más curiosos, conocido de cuantos se ocupan del fenómeno ovni, es el que, a principios de los años cincuenta, tuvo como protagonista a George Adamski, un tranquilo estadounidense de mediana edad, propietario de un quiosco de bocadillos cerca del observatorio de Monte Palomar. Quizá por este motivo tenía pasión por la astronomía. Escrutando el cielo con su telescopio de aficionado, Adamski –así lo cuenta la crónica– descubrió objetos volantes no identificados que muy pronto reconoció como astronaves extraterrestres. Las observaciones de astronaves continuaron con regularidad hasta que una de ellas, probablemente venciendo su innata timidez, se mostró de día y fue a posarse en un monte próximo al observatorio. Los experimentados astrónomos de Monte Palomar, con su telescopio de 5 m, demasiado ocupados en estudiar estrellas y galaxias, no se apercibieron de un suceso de tal alcance. El encuentro entre el bueno de Adamski y los ocupantes de la astronave ocurrió, pues, en una perfecta intimidad, lejos de miradas indiscretas, tal como establece la tradición. Por fortuna, se trataba de extraterrestres buenos, con apariencia humana, rubios y de ojos azules (obsérvese alrededor con gran circunspección si se viaja a países escandinavos), que con gestos (no todos los extraterrestres hablan inglés) dieron a entender que provenían del planeta Venus. Pero la cosa no acabó aquí, naturalmente. Los presuntos venusianos invitaron a Adamski a dar una vuelta a la Tierra a bordo de su astronave. Los encuentros se repitieron otras veces y, en algunas ocasiones, Adamski hizo fotografías de estas astronaves que, a decir verdad, se parecen extrañamente a las viejas lámparas de gas que colgaban de los postes en las ciudades a principios de siglo. Un buen día, los venusianos decidieron que ya era hora de volver a casa y Adamski se quedó solo con su secreto.
¿Visionario? ¿Falsario? ¿Testigo de hechos reales? Como en muchos casos parecidos, las opiniones discrepan y, por tanto, no nos pronunciaremos. Reconstruir la verdad a una distancia de 40 años es prácticamente imposible, entre otras cosas porque Adamski ya ha pasado a mejor vida y descansa en el cementerio de Arlington, reservado tradicionalmente a los héroes de Estados Unidos. Pero, cualquiera que sea el juicio sobre su persona y su vivencia, Adamski fue el fundador de una estirpe ya clásica en la literatura sobre los ovnis: el «contactado», es decir, la persona que establece contacto con los extraterrestres.

Si los extraterrestres raptan al testigo es con fines puramente científicos o para utilizarlo como cobaya en experimentos más o menos extraños. Sin embargo, nunca se le causan daños.

También el aspecto físico de los extraterrestres se encuentra estandarizado, con la descripción recurrente de entes con semejanzas humanoides características (boca pequeña, ojos grandes, lampiños y sin orejas), cuando no totalmente humanas.



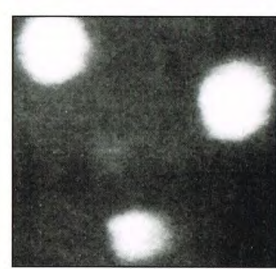
Lugar del impacto del presunto disco de Roswell, a unos 30 km de la ciudad.

¿QUÉ HAY DE VERDAD?

Es enorme la cantidad de personas que cada año ven, o creen ver, en los ovnis astronaves de origen extraterrestre, como lo es también la de aquellos –mitómanos en muchos casos, o personas que buscan una celebridad fácil– que sostienen haber tenido contactos directos con los extraterrestres. Se ha demostrado que muchos de estos casos son falsos y, a menudo, los ovnis han podido explicarse como fenómenos naturales, globos sonda, reflectores de discotecas, etc. Además de éstos, hay un porcentaje mínimo de casos «genuinos», todavía inexplicados, cuya fiabilidad se basa en la buena fe de los testigos, probada mediante investigaciones policiales, tests psíquicos, declaraciones bajo hipnosis, interrogatorios repetidos, etcétera. Naturalmente, esto no significa nada definitivo, aparte del hecho de que se trata de un problema real. Seguramente, el mejor modo de buscar una respuesta a la cuestión de los ovnis es evitar cualquier tipo de prejuicio que pueda llevar a conclusiones precipitadas en un sentido o en otro y aproximarse al problema con verdadero espíritu científico.

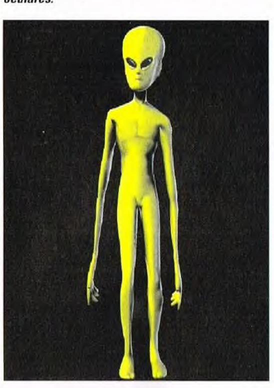


El hangar al cual se habrían llevado los restos del platillo volante.



La explicación más frecuente en caso de observaciones de cuerpos luminosos en el cielo es que se trata de astronaves extraterrestres de paso por nuestro planeta. En realidad, a menudo no son más que simples fenómenos atmosféricos o ilusiones ópticas.

Abajo, un* identikit *de extraterrestre reconstruido según la descripción de presuntos testigos oculares.



EL SIR-C/X-SAR

El SIR-C/X-SAR, un proyecto fundamental de la «Misión hacia el Planeta Tierra», puesto en marcha por la NASA en 1991, ha facilitado datos muy importantes para el estudio del ecosistema terrestre, los cambios climáticos y geológicos, el ciclo hidrogeológico y el movimiento de las corrientes oceánicas.





Un radar espacial multinacional, destinado a efectuar observaciones de la Tierra y de su medio ambiente, es uno de los últimos resultados de la activa cooperación entre Estados Unidos, Alemania e Italia.

Las novedades introducidas en este sistema están permitiendo una notable aportación a las investigaciones futuras sobre los ciclos del carbono y del agua en nuestra atmósfera, así como sobre sistemas ecológicos, climatológicos y geológicos del medio en que vivimos.

Este complejo dispositivo reúne en un solo sistema las tecnologías estadounidenses y europeas más avanzadas en el sector del radar de apertura sintética.

Se trata de un tipo de radar que transmite impulsos de energía de microondas hacia la Tierra y mide la intensidad y el retraso de la señal que es enviada a la antena del radar. Esto permite obtener un mapa muy detallado de la región que se examina. El movimiento del transbordador espacial se utiliza para conseguir imágenes de mejor resolución mediante un proceso de tratamiento de datos muy complejo.

DIVERSAS APLICACIONES

Las características de la superficie de la Tierra influyen en la cantidad de energía que se refleja en el radar. Cuanto más heterogénea es una zona –por ejemplo, con montículos, árboles y extensiones de masas rocosas– tanto mayor es la energía reflejada con respecto a una zona uniforme: por ejemplo, un desierto.



Arriba y a la izquierda, dos imágenes del lanzamiento de la cápsula espacial estadounidense a la que se confió la misión de llevar al espacio el radar denominado SIR-C/X-SAR. En la imagen de arriba, tomada inmediatamente después del despegue, se ve el fuerte impulso de los cohetes auxiliares laterales del transbordador. A la izquierda, éste va ganando altura para dirigirse hacia su órbita terrestre.

Las tres frecuencias diferentes del radar del SIR-C/X-SAR han permitido observar las características del suelo con tres resoluciones diferentes.

Con el nombre de Shuttle Imaging Radar-C (SIR-C), la NASA ha desarrollado un radar doble, en las bandas C y L, de una longitud de onda comprendida entre los 5,8 y los 23,5 cm, mientras que DARA y ASI han desarrollado un radar en la banda X, con una longitud de onda de 3,1 cm, llamado Synthetic Aperture Radar (X-SAR).

En 1991, la NASA puso en marcha su «Misión hacia el Planeta Tierra» para ampliar los conocimientos sobre el medio en que vivimos.

Como parte integrante de este programa, el Space Radar Laboratory (SRL1) –del cual la unidad SIR-C/X-SAR ha pasado a ser un componente fundamental, además de los vuelos del transbordador





Dos imágenes de los astronautas trabajando durante la misión. Debían hacer las observaciones a una altitud de más de 200 km, tomando imágenes radar a varias frecuencias durante cada órbita de la nave. Estas imágenes permiten estudiar zonas impenetrables de nuestro planeta.



Una imagen radar tomada por el SIR-C/X-SAR, colocado a bordo del transbordador Endeavour el 16 de abril de 1994. Se ve la Valley Island de Maui, en las islas Hawai. La región encuadrada mide 73,7 × 48,7 km^2. Los diversos colores corresponden a diferentes frecuencias y polarizaciones del radar.

espacial– está facilitando datos radar de gran importancia para el estudio del ecosistema terrestre, el ciclo hidrogeológico y el movimiento de las corrientes oceánicas.

Radares para obtener imágenes, de una sola frecuencia y de una sola polarización, ya fueron puestos en órbita por anteriores misiones del transbordador espacial o por otros satélites, como el ERS, de la ESA, y el JERS-1, de la Agencia Espacial Japonesa.

Pero el SIR-C/X-SAR ha operado en tres frecuencias, simultáneas o independientes, y tres polarizaciones, recogiendo datos durante un período de 8 a 10 días en cada vuelo del transbordador, situado en una órbita inclinada 57° y a una cota de 215 km sobre la superficie terrestre.

¿POR QUÉ UN RADAR?

La utilización de este medio para el estudio de la Tierra tiene una finalidad muy importante: poder observar cualquier región del planeta sin tener que contar con las condiciones meteorológicas ni con la luz solar. Algunas longitudes de onda radio son capaces de penetrar en las nubes y, en ciertas condiciones, también en la vegetación, el hielo y las arenas muy secas. En muchos casos, el uso de un radar es el único medio para estudiar zonas lejanas e inaccesibles de nuestro planeta.

LAS MISIONES

En 1994, los instrumentos radar volaron dos veces en un transbordador espacial. El primer vuelo fue con el Endeavour, entre el 9 y el 20 de abril; el segundo se efectuó entre el 30 de septiembre y el 11 de octubre. En cada misión se recogieron decenas de «terabits» de datos (un terabit corresponde a 10^{12} bits), equivalentes a 30.000 volúmenes de enciclopedia.

Las localidades elegidas para el estudio debían tener diferentes entornos. En cada una de ellas operaban ya grupos de trabajo que tenían que continuar las investigaciones después de los vuelos radar.

Veamos algunos ejemplos de los resultados obtenidos durante las dos campañas de vuelo.

EL RIN

Una imagen recogida por el satélite muestra un segmento del Rin en el punto en que marca la frontera entre Alsacia, al noreste de Francia, y la Selva Negra, en Alemania. El Rin, uno de los principales ríos utilizados como vía de transporte en la Europa central, atraviesa cinco países, desde los Alpes austrosuizos hasta las costas del mar del Norte, en Holanda. El valle que recorre está densamente poblado: en la imagen que aparece abajo, a la izquierda, puede observarse la ciudad francesa de Estrasburgo (zona azul y anaranjada de la parte superior izquierda) y la alemana de Kehl. El valle, muy fértil, es famoso por su producción de vinos y, en la fotografía, las zonas de color violeta indican precisamente la extensión de los viñedos. Las que aparecen en verde indican la presencia de bosques. Imágenes así permiten a los científicos advertir los efectos del desarrollo urbano y agrícola en un ecosistema tan delicado como el valle del Rin. Esta imagen fue tomada el 2 de octubre de 1994; cubre un área de 34,2 × 33,2 km^2 y está centrada a 48,5° grados de latitud norte y 7,7° de longitud este. El norte está a la izquierda.

CHAD: DESIERTO DEL SAHARA

El impacto de un asteroide o de un cometa, hace centenares de millones de años, dejó una profunda cicatriz en el suelo, que todavía puede verse en una interesante imagen (abajo, a la derecha) de una zona

A la izquierda, imagen del Rin tomada por el SIR-C/X-SAR. Fotografías como ésta permiten la monitorización de las condiciones de desarrollo urbano en zonas sometidas a una presión ambiental considerable.

El aspecto singular de la fotografía de la derecha se debe a la característica forma circular que hay en el centro de la imagen. Se trata del resto de un cráter de impacto en el desierto del Chad.



del desierto del Sahara, al norte del Chad. Las estructuras en anillo constituyen el cráter Aorounga, que tiene un diámetro de diecisiete kilómetros, aproximadamente.

Los investigadores lo están analizando para comprobar si esta estructura se formó como consecuencia del impacto de un objeto celeste constituido por varios fragmentos. Un segundo cráter, similar en dimensiones a la estructura principal, aparece como una depresión que rodea un pico en el centro de la imagen. Además, hay una tercera estructura, también de las mismas dimensiones, que los investigadores ven como un hundimiento oscuro con una posible estructura central en el centro mismo de la imagen.

Esta cadena de cráteres podría haberse formado cuando un objeto, de uno o dos kilómetros de diámetro, se fragmentó antes de chocar con nuestro planeta.

Las líneas oscuras horizontales son el resultado de los depósitos de arena transportada por el viento. Las regiones desérticas tienen un gran interés para los estudios con imágenes radar, ya que las ondas radio pueden penetrar por los finos niveles de arena seca para descubrir detalles geológicos que resultarían invisibles con otros tipos de sensores. La imagen fue tomada entre el 18 y el 19 de abril de 1994. La zona tiene una superficie de 45 × 61 km² y está centrada a 19,25° de latitud norte y a 19,25° de longitud este. El norte está en la parte superior.

DELTA DEL NILO

En otra imagen radar recogida por satélite (abajo, a la izquierda), puede observarse la zona al norte de la ciudad de El Cairo, en Egipto, donde el Nilo se divide en dos brazos: uno es la línea oscura del centro de la imagen, y otro la línea de la parte inferior derecha. La zona azul es una parte del delta del Nilo. Las líneas oscuras finísimas y muy rectas, y la red de líneas doradas, son canales de riego. Se ha podido calcular que actualmente hay más de 10.000 km de canales de riego en el delta del Nilo. En azul y amarillo, la zona de transición, entre los campos muy irrigados y el desierto.

La zona azul oscuro, a la izquierda de la fotografía, es el desierto. La imagen fue tomada el 4 de octubre de 1994 y cubre un área de 75 × 60 km², centrada a 30,2° de latitud norte y 31,1° de longitud este. El norte está en la parte superior.



También la actividad de los vulcanólogos encuentra ayuda en las imágenes radar tomadas desde el espacio. En este caso se trata del Etna, uno de los volcanes activos de Italia, cuyas características geológicas quedan destacadas por los diversos colores de la imagen.

ETNA

El Etna es uno de los volcanes más activos de la Tierra y uno de los más estudiados. Las observaciones efectuadas muestran las coladas de lava, de edades diversas, que se diferencian entre sí por sus colores. Utilizando las imágenes del X-SAR, los vulcanólogos pueden observar muchas características físicas difíciles de ver desde tierra. A lo largo de su historia, este volcán ha tenido centenares de erupciones; la última importante se produjo entre 1991 y 1993. La imagen más significativa fue tomada el 11 de octubre de 1994; está centrada a 37,8° de latitud norte y 15,1° de longitud este, y cubre un área de 51,2 × 22,6 km².




A la izquierda, el delta del Nilo, fotografiado desde 200 km de altitud, mostrando su ancha y fértil llanura, cuna de la astronomía antigua.



A la derecha, imagen radar de un yacimiento petrolífero marino situado a unos 100 km al oeste de Bombay. Las franjas oscuras son las manchas de petróleo alrededor de las plataformas de perforación, que aparecen como puntos claros. Este tipo de imágenes radar permite monitorizar la extensión de las pérdidas de petróleo sobre las superficies oceánicas debidas a la actividad de extracción y a causas naturales.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

LAS ESTACIONES

ESTRELLAS Y GALAXIAS

GALAXIAS EN INTERACCIÓN

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

LA POPA

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

LOS EFECTOS DE MAREA

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

LAS MISIONES MERCURY

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

40



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

LAS ESTACIONES

La sucesión de las estaciones en la Tierra está determinada por el movimiento de nuestro planeta alrededor del Sol y por las diversas maneras en que se encuentra expuesto a las radiaciones procedentes de nuestra estrella.



Podríamos suponer que nuestros antepasados más remotos no comprendieron que las estaciones se siguen de un modo periódico y regular, porque, por ejemplo, cuando terminaba el verano no podían estar seguros de que volvería de nuevo.

Sin embargo, todas las culturas antiguas nos han transmitido valiosos conocimientos sobre la alternancia de las estaciones, que les servían para la medida del tiempo, las prácticas ligadas a la agricultura y la elaboración de unos calendarios cada vez más precisos.

Los fenómenos astronómicos relacionados con las estaciones, lo mismo que la alternancia del día y la noche, siempre han marcado la vida de los hombres y han sido estudiados con un detalle sin igual en el campo de la astronomía.

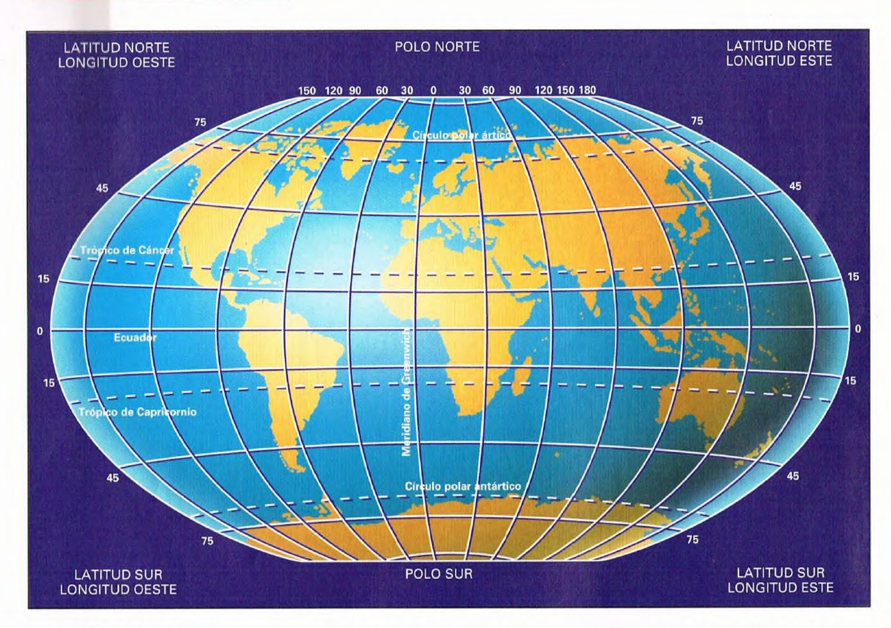
EL EJE DE ROTACIÓN DE LA TIERRA

Para comprender bien las causas que determinan las estaciones es necesario recordar algunos detalles de los movimientos de nuestro planeta.

La Tierra da una vuelta alrededor del Sol en un año y precisamente la definición del año se basa en este movimiento. Además, la Tierra gira alrededor de su propio eje en 24 horas; la dirección del eje terrestre determina los polos celestes, el polo Norte y el polo Sur, y es constante en el tiempo salvo pequeñas variaciones que se extienden a lo largo de escalas temporales muy largas, del orden de decenas de miles de años. Hacia el norte, en el cielo, el eje terrestre apunta a la estrella polar, que constituye una referencia útil para la orientación nocturna. Se observa que el eje terrestre forma con el plano de la órbita, o eclíptica, un ángulo de unos 66,5°. Es más frecuente considerar el ángulo formado por el eje y la perpendicular al plano de la eclíptica, que es de unos 23,5° (más exactamente, de 23° 27').

Naturalmente, la luz procedente del Sol ilumina siempre la mitad del globo terrestre, precisamente la que está orientada en dirección a nuestro astro. La otra mitad se encuentra en aquel momento a oscuras, y por eso es de noche. El límite entre la mitad iluminada y la oscura se llama «terminador». Según la posición que ocupa un observador en la superficie terrestre, el Sol aparece a distintas alturas sobre el horizonte. De todos modos, para cualquier observador situado en el hemisferio norte, el astro alcanza la máxima altura durante el día, cuando transita por encima del punto cardinal sur. Es el verdadero mediodía, independiente de las convenciones a que están sujetos los relojes de que nos servimos.

En nuestro planeta, las diferencias climáticas producen diferencias de paisaje. La foto muestra una región de la Antártida.



Esquema en proyección de la superficie terrestre. En él se han dibujado los principales meridianos y paralelos, en particular el ecuador, los trópicos y los círculos polares.

LAS COORDENADAS GEOGRÁFICAS

Para definir las posiciones sobre la superficie terrestre se utiliza una red de coordenadas geográficas. La dirección espacial respecto a la cual se construye esta red es, una vez más, la del eje de rotación de la Tierra. No basta decir que el ecuador terrestre es el círculo que pasa por el centro de la Tierra, porque círculos con esta propiedad los hay infinitos; el ecuador es el único que, además, es perpendicular al eje de rotación. Esta definición es unívoca, por lo que el ecuador queda identificado sin posibilidad de confusión.

Paralelamente al ecuador es posible trazar unos círculos, en número infinito, llamados paralelos terrestres. Perpendicularmente a ellos se trazan otros círculos, también en número infinito, que pasan por los polos de la Tierra y se llaman meridianos terrestres.

Un punto cualquiera sobre la superficie de la Tierra (una persona, una ciudad, un barco en el mar) puede identificarse mediante dos números llamados coordenadas geográficas: la latitud y la longitud. La latitud es la distancia angular entre el punto considerado y el ecuador. Se mide en grados, minutos y segundos de arco y puede ser «Norte» o «Sur» según que el punto se encuentre en el hemisferio boreal o austral. La longitud es la distancia angular entre el punto y un cierto meridiano tomado como referencia; se trata, por razones históricas, del que pasa por el Observatorio de Greenwich, cerca de Londres.

La longitud se puede medir en grados, pero generalmente se mide en horas, minutos y segundos de tiempo. Dado que la

A la izquierda, nuestro planeta visto desde el espacio. El círculo que separa la zona iluminada de la de sombra se llama terminador.

DATOS *DURACIÓN DE LAS ESTACIONES EN LOS DOS HEMISFERIOS*

Estaciones	Hemisferio boreal	Hemisferio austral
Primavera	92d 22h	89d 17h
Verano	93d 14h	89d 1h
Otoño	89d 17h	92d 22h
Invierno	89d 1h	93d 14h



Esquema que muestra la inclinación con que los rayos solares inciden sobre la superficie terrestre en las distintas latitudes durante un equinoccio. Como se advierte, dicha inclinación aumenta con la latitud y es máxima en los polos.

Tierra da una vuelta completa alrededor de su propio eje (360 grados) en 24 horas, cada hora gira 15 grados; por ello vale la equivalencia 1 hora = 15 grados. La longitud es «Este» para los puntos de la Tierra a oriente de Greenwich y «Oeste» para los de la parte opuesta.

LAS DISTINTAS ALTURAS DEL SOL

Como es fácil de observar, en el hemisferio norte el Sol transita por el sur a diferentes alturas sobre el horizonte en las distintas estaciones. Esto significa que sus rayos llegan a la Tierra con diferentes inclinaciones en los distintos períodos del año. Es muy fácil comprobarlo: basta pensar en lo mucho que las sombras se alargan en invierno, cuando el Sol está muy bajo, y en lo mucho que se acortan en verano, cuando el Sol está a gran altura sobre el horizonte.

La Tierra, como se ha dicho, se mueve alrededor del Sol en el plano de la eclíptica. Por ello, este plano también es aquel en el cual, para un observador terrestre, se mueve aparentemente el Sol en un año. Dado que la eclíptica y el ecuador celeste están inclinados el uno con respecto al otro, el Sol, en el curso de un año, se desplaza de un hemisferio al otro: permanece seis meses en el hemisferio norte y seis en el hemisferio sur y transita dos veces, en los equinoccios (21 de marzo y 23 de septiembre), perpendicularmente al ecuador.

El 21 de junio alcanza la máxima declinación norte y por lo tanto se encuentra en la vertical del paralelo más septentrional de la Tierra para el cual se produce este fenómeno; se halla éste a 23° 27' Norte y se llama trópico de Cáncer.

El 22 de diciembre, en cambio, el Sol se encuentra en la máxima declinación meridional (23° 27' Sur), en la vertical del trópico de Capricornio. Estos dos días se llaman solsticios, término que significa que el Sol, en torno a estas dos fechas, parece mantenerse inmóvil: no está cada vez más alto a mediodía, como sucede en primavera y verano, ni más bajo, como en otoño e invierno. El término equinoccio, en cambio, indica que el día y la noche tienen la misma duración de 12 horas.

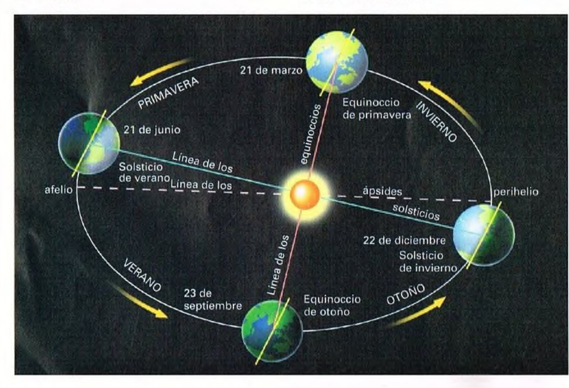
LA ILUMINACIÓN SOLAR Y LAS ESTACIONES

Lo que determina las estaciones es precisamente la distinta altura que el Sol alcanza en las diversas épocas del año. La luz emitida por nuestra estrella es siempre la misma; el Sol permanece inmutable desde hace miles de millones de años, una situación que persistirá durante miles de millones de años más. Pero cuando su luz llega a la Tierra perpendicularmente, está mucho más concentrada que cuando llega oblicuamente. En verano, en latitudes como la de España, el Sol, a mediodía, se encuentra a más de 65° sobre el horizonte; en invierno, en cambio, su altura apenas rebasa los 20°.

Cuanto más bajo está el Sol, tanto más se desperdiga su luz, y por tanto su energía, por la superficie terrestre.

Es importante observar que las estaciones nada tienen que ver con la variación de la distancia Tierra-Sol durante el año. La órbita de la Tierra es casi circular (la distancia mínima al Sol es de 147 millones de kilómetros, mientras que la máxima es de 152 millones de kilómetros, con una diferencia porcentual del 3% más o menos), por lo que este factor es prácticamente despreciable ante la inclinación de los rayos solares.

Esto es obvio si se piensa que las estaciones están invertidas en ambos hemisferios (cuando en latitudes como la de España comienza el verano, en Sudamérica y



Esquema de la trayectoria de la Tierra alrededor del Sol. Como se ve, nuestro planeta se encuentra en el punto de mínima distancia al Sol al comienzo del invierno en el hemisferio boreal.

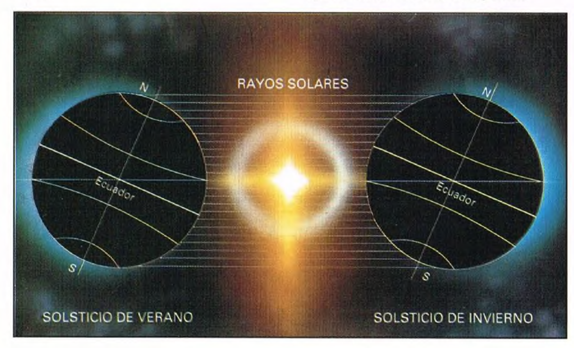
En las regiones ecuatoriales y tropicales, los rayos solares inciden casi perpendicularmente en todos los períodos del año. El resultado es un clima tórrido y casi totalmente desprovisto de estaciones. En la fotografía se ve el río Namay, en Perú.

Australia empieza el invierno) y que en torno al solsticio de verano la Tierra se encuentra a la máxima distancia del Sol. Teóricamente, por tanto, los veranos australes deberían ser ligeramente más cálidos que los boreales, pues al comienzo del verano austral la Tierra está más cerca del Sol que al comienzo del verano boreal. Inversamente, los inviernos deberían ser más suaves en el hemisferio norte.

EL SOL DE MEDIANOCHE

Ahora podemos comprender mejor algunos detalles ligados a la red geográfica y a las distintas posiciones de la Tierra a lo largo de su órbita. Por ejemplo, como se ha dicho, el ecuador es la región de la Tierra en la cual el Sol se encuentra en la vertical en los equinoccios. En estos dos días, la Tierra es

Esquema de la iluminación de la Tierra durante los solsticios, a seis meses de distancia. En estos dos días (21 de junio y 22 de diciembre) el Sol es perpendicular a las regiones que se encuentran respectivamente en el trópico de Cáncer y en el trópico de Capricornio, mientras que se encuentra por encima del horizonte de las regiones situadas en los círculos polares.

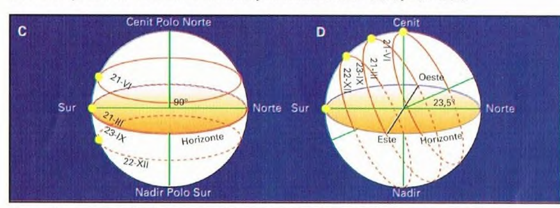


LA CAUSA DE LAS ESTACIONES

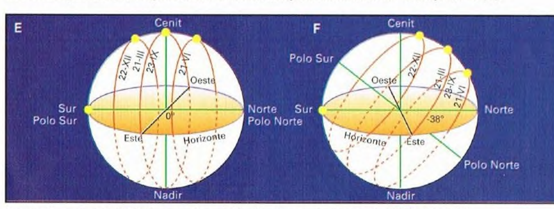
En los distintos períodos del año, a causa del movimiento de revolución de nuestro planeta alrededor del Sol, la luz de nuestro astro llega formando distintos ángulos con la superficie terrestre. El resultado es la sucesión de las estaciones. Es posible reproducir el fenómeno con una lámpara de bolsillo cuyo haz sea lo bastante estrecho. Dirigiendo el haz perpendicularmente a una superficie, por ejemplo la de una mesa, la luz se concentrará en una zona muy reducida. Colocando sobre la superficie de la mesa un papel dividido en cuadrados regulares, se puede estimar aproximadamente el área iluminada contando el número de cuadrados sobre los cuales incide la luz. Si se inclina la lámpara, se observa que la luz se distribuye por una superficie tanto mayor cuanto mayor es la inclinación.



En los esquemas se representa el camino aparente del Sol por encima del horizonte, con el paso de las horas, para regiones de la Tierra a distintas latitudes. El caso C se refiere al polo Norte y el E al ecuador.



Recorrido aparente del Sol sobre el horizonte para latitudes de 50° N (A) y 66,5° N (B).



Recorrido aparente del Sol por encima del horizonte para latitudes de 90° N (C) y 23,5° N (D).

Recorrido aparente del Sol por encima del horizonte para latitudes de 0° (E) y 38° S (F).

iluminada uniformemente por el Sol de polo a polo. Los trópicos, en cambio, son las regiones en cuya vertical se encuentra el Sol durante los solsticios; la banda de la Tierra comprendida entre los dos trópicos es la región en la cual el Sol pasa verticalmente dos días al año. En latitudes como la de España esto no sucede nunca. Además, los equinoccios son los dos únicos días del año en que el Sol sale exactamente por el este y se pone por el oeste; en los demás casos, la salida y la puesta están desplazadas respecto a estos dos puntos cardinales: hacia el norte en otoño e invierno y hacia el sur en primavera y verano (en el hemisferio norte).

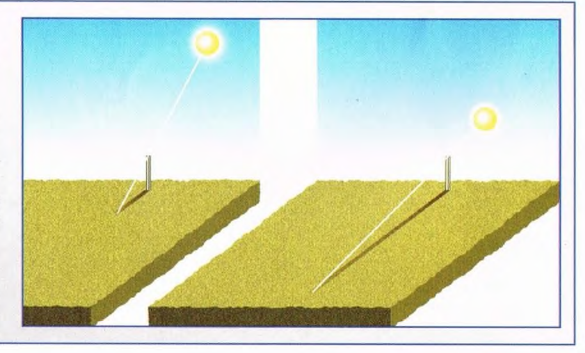
También los círculos polares, el ártico y el antártico, que son los dos paralelos situados respectivamente a 66° 33' de latitud Norte y Sur, tienen un significado preciso. Esos círculos definen las regiones de la superficie terrestre en las cuales el Sol, en ciertos períodos del año, no pasa nunca por encima del horizonte. Los períodos de oscuridad son cada vez más largos a medida que nos acercamos a los polos, en los cuales duran seis meses. El polo Norte está inmerso en la oscuridad desde el 23 de septiembre hasta el 21 de marzo; en los seis meses restantes el polo Sur se encuentra a oscuras.

LA IMPORTANCIA DE UN ÁNGULO

Si el eje de la Tierra fuera perpendicular al plano de la eclíptica no habría estaciones. Toda la Tierra estaría uniformemente iluminada por el Sol, como sucede en los equinoccios. La temperatura de la superficie estaría determinada sólo por la latitud: el Sol caería siempre a plomo en el ecuador y estaría cada vez más bajo a medida que aumentara la latitud. En los polos, el astro pasaría siempre rasante por el horizonte, en cualquier hora del día y de la noche y en cualquier día del año. En una situación como ésta, la vida en la Tierra se habría desarrollado de un modo muy diferente.

LA ALTURA DEL SOL

Se puede realizar un experimento muy sencillo para verificar la distinta altura del Sol sobre el horizonte en las diversas estaciones del hemisferio boreal. Se coge un palo bien recto y se planta en el suelo en un lugar donde el horizonte esté bastante despejado. El palo ha de estar bastante resguardado; no deben moverlo los agentes atmosféricos. Luego se mide la longitud de la sombra que proyecta el palo a una cierta hora del día, por ejemplo a mediodía. Repitiendo la medida un día tras otro, se observará en el hemisferio norte que la sombra se alarga del 21 de junio al 22 de diciembre, mientras que se acorta en los seis meses siguientes.



GALAXIAS EN INTERACCIÓN

Muchas galaxias experimentan de manera notable la proximidad de otras. La fuerza de marea gravitacional y los encuentros próximos las deforman y crean miles de millones de estrellas.



Nuestro universo sólo es homogéneo a gran escala: considerado globalmente, posee las mismas características en cualquiera de sus partes y no contiene zonas más densas que otras. No obstante, contemplando el cielo desde nuestra Galaxia, se ven millones de galaxias distribuidas menos casualmente. Se observan pequeñas aglomeraciones, o grupos, y otras mayores, los cúmulos y supercúmulos de galaxias. Las galaxias, generalmente, no están aisladas, sino que se encuentran en las proximidades de otras.

La proximidad comporta necesariamente muchas interacciones entre las galaxias. A menudo, estas interacciones adoptan un carácter violento: deforman las galaxias y originan en poco tiempo miles de millones de nuevas estrellas.

LA INVESTIGACIÓN

El primer cometido de los astrónomos consiste en descubrir en el cielo las galaxias que realmente interactúan, descartando los pares de galaxias o grupos de ellas que sólo por un efecto de perspectiva parecen próximas en la bóveda celeste. La construcción de estos catálogos ha topado siempre con numerosas dificultades.

En primer lugar, el examen de decenas de placas fotográficas que contienen a su vez miles de objetos constituye un esfuerzo formidable incluso para los observadores más avezados. Las placas fotográficas son todavía hoy el instrumento indispensable para obtener grandes cantidades de informaciones simultáneas. Una placa del atlas de Monte Palomar o del atlas ESO del cielo austral muestra una porción de cielo cuadrada de 5 o 6 grados de lado: 25 grados cuadrados en una sola exposición. Las más modernas telecámaras con dispositivo CCD, que son





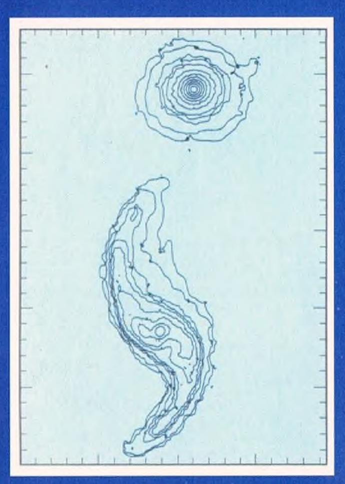
La galaxia llamada Bella Durmiente parece girar tranquilamente alrededor de su propio eje mientras vaga por el universo. Sin embargo, un reciente estudio ha demostrado que el anillo de polvo oscuro bien visible cerca del núcleo está girando en sentido contrario al de las demás estrellas. Se trata de la señal de una interacción con otra galaxia, la cual, tal vez al atravesar la Bella Durmiente, ha perdido todo su gas, que ahora gira alrededor del núcleo de la nueva galaxia con el mismo sentido de rotación que tenía en la galaxia primitiva.

Abajo, la galaxia Remolino, catalogada por Messier como M51, situada en la constelación de los Perros de Caza. Con ella se ha experimentado el satélite de astronomía infrarroja ISO. El satélite europeo puede tomar imágenes a una longitud de onda comprendida entre 7 y 15 micras, en el infrarrojo lejano. La luz emitida en el infrarrojo procede de las regiones HII, donde se están formando nuevas estrellas que iluminan el gas circundante.





El quinteto de Stefan es quizá el más famoso grupo de galaxias en interacción. Los efectos de marea son bien visibles en todo el campo de la foto. Sin embargo, el análisis espectroscópico ha revelado que la galaxia representada abajo a la izquierda posee un desplazamiento hacia el rojo diferente del de las demás. Por tanto, se trata de un cuarteto de galaxias en interacción física, al cual está superpuesta otra galaxia que se encuentra en la visual de la Tierra.





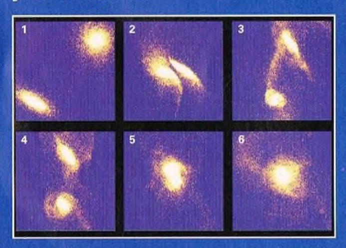
A la izquierda, un par mixto (una elíptica y una espiral) en esta imagen tomada de la galaxia binaria AM 0119-613. En la ilustración adjunta se han representado las isofotas, líneas de igual luminosidad, que permiten determinar mejor la atracción gravitacional ejercida por la galaxia elíptica (arriba) sobre los brazos espirales de la galaxia espiral (abajo).

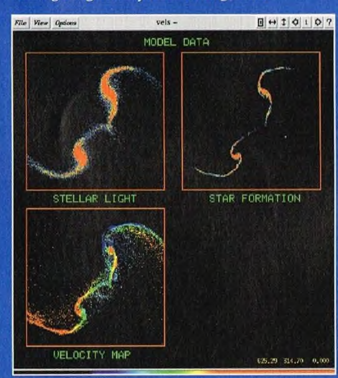
más eficaces y permiten un análisis informático, suelen cubrir un área de 10' de lado. Hacen falta, pues, 900 exposiciones CCD para fotografiar un área del cielo correspondiente a una sola placa de Monte Palomar.

De las imágenes se pueden extraer informaciones sobre las posiciones de las galaxias, sobre las separaciones angulares entre dos o más de ellas y sobre el tamaño aparente de cualquier objeto. Los primeros en construir con estos datos catálogos de galaxias fueron Holmberg y Page, por separado, entre 1940 y 1960. Estos investigadores utilizaron exclusivamente la separación angular entre pares de galaxias, excluyendo del catálogo todos los pares separados por más del triple de la suma de los diámetros de las dos galaxias. Esto causó muchos problemas y los catálogos nunca se utilizaron para estudios estadísticos.

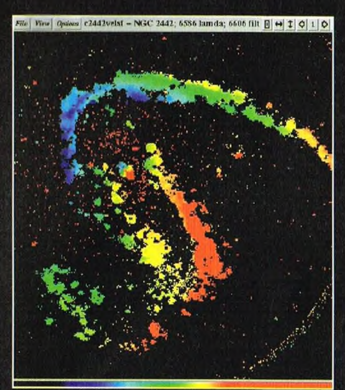
Karachentsev, en 1972, creó el *Catálogo de pares aislados del hemisferio norte* utilizando el famoso *Catálogo de galaxias y cúmulos de galaxias*

En la figura aparece la luz emitida por las estrellas visibles durante el encuentro, simulado por ordenador, entre dos galaxias espirales. Los números indican la sucesión de las distintas fases. En primer lugar, se puede ver la distorsión de los brazos ya existentes, seguida de la formación de arcos de materia en forma de estrellas que conectan las dos galaxias. Después de un primer acercamiento, las dos galaxias todavía son distinguibles, pero su morfología ha quedado completamente alterada. Un ulterior acercamiento hace que los núcleos se fusionen en un único núcleo galáctico, mientras que muchas estrellas forman brazos irregulares que parten del centro. Estas imágenes reproducen muy bien el comportamiento de muchas galaxias binarias.





La simulación por ordenador es muy importante en las observaciones celestes. Con los más veloces ordenadores se puede simular un encuentro entre dos galaxias para poner a prueba las leyes de la gravitación. En esta imagen compuesta se visualiza de tres maneras distintas el resultado de un encuentro entre galaxias: 1) la luz estelar, que es la que podría ver un telescopio normal; 2) la formación de estrellas, tal como debería observarse con luz infrarroja; y 3) el mapa de velocidades, donde el distinto color indica la velocidad radial, más azul en las estrellas que se acercan a nosotros y más rojo en las que se alejan. Como se trata de simulaciones por ordenador, se puede visualizar cualquier tipo de datos y compararlos con las observaciones.



No se trata aquí de simulaciones sino de auténticas observaciones de la galaxia NGC 2442, obtenidas con la técnica interferométrica de Fabry-Perot. Es posible visualizar así las distintas velocidades de acercamiento y alejamiento radial de los brazos galácticos. Los falsos colores codifican de azul las velocidades hacia el observador (nosotros en la Tierra) y de rojo las opuestas. Obsérvese el brazo espiral distorsionado por la interacción gravitacional con la galaxia compañera de la derecha.

compilado por el astrónomo estadounidense Zwicky en 1968. En él se tenía en cuenta el hecho de que podían existir pares falsos, con galaxias muy próximas entre sí pero de diámetro muy distinto; se trataba de un signo casi cierto de una proximidad puramente perspectiva, ya que una de las galaxias estaba mucho más lejos y por tanto parecía más pequeña. Una confirmación de la validez del método usado por Karachentsev procede de la medida de la distancia de todas las galaxias incluidas en su catálogo. Un examen atento revela que sólo el 10% de las muestras de binarias es falso, debido a efectos de perspectiva.

La introducción de los ordenadores en astronomía en los años setenta puso un potente instrumento a disposición de los estudiosos de estadísticas astronómicas. La elaboración de catálogos y la aplicación de criterios de búsqueda de pares o pequeños grupos de galaxias se convertía en un trabajo más rápido y menos sujeto a valoraciones subjetivas.

Después de los primeros resultados, poco alentadores, podemos hoy disponer de catálogos automáticos basados en la digitalización de placas fotográficas bastante fiables. Los catálogos elaborados en los últimos años por los astrónomos del Observatorio de Brera, en Milán, dedicados al estudio del hemisferio austral, sacan partido de las nuevas potencialidades. El catálogo de Iovino y Prandoni contiene todos los grupos de galaxias con al menos tres miembros, mientras que el de Reduzzi y Rampazzo extiende al hemisferio sur los criterios

UNA ONDA DE CHOQUE, MILES DE MILLONES DE ESTRELLAS

La galaxia Cartwheel (rueda de carro), que vemos a toda página en una representación pictórica, se encuentra a una distancia de 500 millones de años luz en dirección a la constelación del Escultor. El fenómeno más evidente es la estructura anular de la galaxia a través de la cual ha pasado otra más pequeña. El paso, similar al choque de una piedra con el agua, ha provocado una onda de choque que se ha propagado hacia el exterior. La onda, viajando a una velocidad de 300.000 km/h, ha empujado y comprimido una enorme cantidad de gas y polvo que ha dado origen al nacimiento de miles de millones de estrellas cuya luz azulada es visible. El fenómeno del nacimiento estelar ha agotado la reserva de gas presente en la galaxia mayor, que de otro modo habría durado miles de millones de años, como en nuestra Vía Láctea.



AM 0054-634 contiene una galaxia espiral que en parte ha sobrevivido al encuentro (como se ve en las partes simétricas, como el anillo central) y en parte se ha deformado, especialmente en los brazos más externos.

de Karachentsev y pone de manifiesto 409 nuevas galaxias binarias, muchas de ellas en interacción.

LA METAMORFOSIS

Los astrónomos suelen dividir las galaxias externas en dos grandes clases: las espirales y las elípticas. Podemos asimilar a las primeras las galaxias irregulares y a las segundas las lenticulares o S0. La principal diferencia entre ambos tipos es la cantidad de gas que permanece después del episodio de formación de estrellas que marca el inicio de la vida de la galaxia. En el caso de las elípticas se supone que prácticamente todo el gas disponible se transformó en estrellas en el mismo momento y que éstas se dispusieron en órbitas desordenadas formando un sistema esferoidal. En la fase inicial de



NGC 6240 (a la izquierda) muestra la señal de un encuentro que ha distorsionado su morfología: se han creado nuevos brazos espirales debidos a los efectos de marea o a la nueva formación estelar en el gas comprimido por la onda de choque.



AM 1311 (a la derecha) consiste en un par de galaxias en interacción. Se observan anillos de polvo más oscuros en el disco de las dos galaxias. La estrella de arriba a la izquierda se encuentra en la visual pero pertenece a la Vía Láctea.

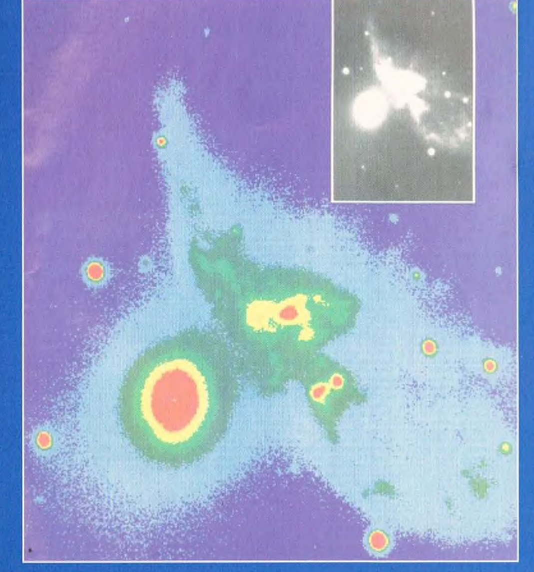
contracción, en cambio, las galaxias espirales sufrieron efectos de tipo viscoso que frenaron el proceso, con la consiguiente formación de la estructura en forma de disco y la escasa eficacia en el uso del gas, el cual, todavía hoy, después de miles de millones de años, sigue llenando todo el disco. La formación estelar es un fenómeno continuo en las galaxias espirales e irregulares.

El tipo al que pertenece una galaxia no es totalmente aleatorio. Las galaxias elípticas prefieren ambientes más densos, como los grupos poblados y los cúmulos de galaxias. Las galaxias espirales se encuentran en ambientes más enrarecidos, por lo que llenan el universo más uniformemente. Si el ambiente es el factor que determina el tipo de galaxia que se formará, habría que esperar encontrar sólo pares de galaxias elípticas o pares de espirales.

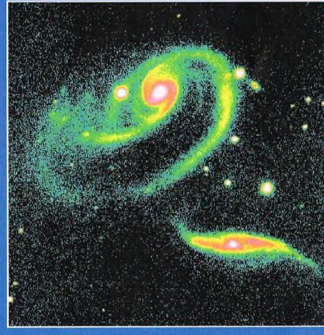
Distintos grupos han llevado a cabo una investigación en este sentido. Los resultados son significativos: se encuentran muchos pares de galaxias mixtas, una elíptica y otra espiral (E + S), y muchísimas dobles elípticas (E + E), más de las que sería de esperar.

La interpretación de los astrónomos se basa en la teoría de la fusión de galaxias conocida con la palabra inglesa *merging*. Según esta hipótesis, algunas galaxias elípticas, sobre todo las más grandes, no se formaron, como las demás, a partir de un solo suceso de formación estelar, sino por fusión de dos o más galaxias, incluso de tipo espiral.

A veces, el encuentro entre dos galaxias (abajo) puede destruir casi por completo una de las dos componentes. En este caso, una de las dos galaxias del par AM 1806-852 ha sido disgregada por las fuerzas de marea de la compañera elíptica.



A 200 millones de años luz de distancia, en la constelación de Andrómeda, se encuentra este bellísimo par de galaxias (abajo), catalogado por el astrónomo Alton Arp en su Catálogo de Galaxias Peculiares *de 1966. La bella imagen obtenida por el telescopio espacial Hubble muestra cómo la galaxia mayor posee brazos espirales deformados por la gravedad de la compañera, que aparece como si hubiera sido ampliada por una lente. La galaxia más pequeña sigue siendo una espiral normal, pero un análisis en el infrarrojo nos muestra un núcleo muy brillante, sede de formación estelar.*





NGC 4038 y NGC 4039 (a la izquierda) forman un par de galaxias conocido como «Antenas», que se observan en dirección a la constelación del Cuervo. Los colores fundamentales rojo, verde y azul (RGB en inglés) se han obtenido observando con filtros H, R y B, que corresponden, respectivamente, al infrarrojo próximo, al rojo-amarillo y al azul. La imagen en «verdadero color» es un poco diferente de la que se vería sin filtros, pero permite ver de azul las asociaciones de estrellas gigantes y jóvenes y de rojo las zonas en las que las nubes de polvo sólo dejan pasar la radiación infrarroja. Las dos galaxias han interactuado y siguen interactuando, pero en un futuro próximo podrían convertirse en una sola galaxia por fusión de sus núcleos.

Muchas simulaciones por ordenador han confirmado que cuando varias galaxias se funden el resultado es, tarde o temprano, una sola galaxia elíptica gigante.

En las galaxias en interacción de tipo mixto, con una elíptica y una espiral, se puede suponer que la galaxia elíptica no siempre existió, sino que es el resultado de la fusión de dos o más galaxias espirales que un día constituyeron un grupo homogéneo de galaxias de tipo espiral.

Siguiendo el mismo razonamiento, el exceso de pares E + E sería debido a la existencia de un pequeño grupo de espirales en el cual dos subgrupos se fundieron dando origen a dos elípticas.

En las fases intermedias, las simulaciones por ordenador muestran arcos de materia que pasan de una galaxia a otra. Estos arcos se han observado.

Como indican algunas observaciones, también se produce el fenómeno contrario: la materia extraída de una galaxia elíptica por las fuerzas de marea durante una interacción consigue formar estructuras parecidas a brazos espirales, generalmente extendidos hacia la galaxia compañera.

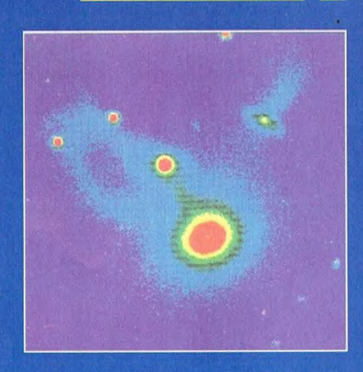
LAS NUEVAS ESTRELLAS

Un suceso violento, como un encuentro muy próximo o incluso una penetración, provoca en una o en ambas galaxias involucradas una onda de marea, como si se tratara de una piedra lanzada a un lago, que produce ondas concéntricas.

Si se propaga hasta una zona rica en gas, como el disco de las galaxias espirales, la onda provoca una compresión súbita y simultánea de una notable cantidad de gas. Este gas formará de inmediato nuevas estrellas. En una galaxia quiescente, la gravitación habría tardado miles de millones de años en utilizar la misma cantidad de gas. Se pueden ver fenómenos espectaculares, como enormes zonas o anillos en que miles de millones de estrellas gigantes azules nacen simultáneamente formando curiosas estructuras. En muchos casos, el resultado de la interacción violenta es un envejecimiento precoz de la galaxia, que consume toda o casi toda la reserva de gas en un último fuego de artificio nuclear.



A la izquierda, imagen, tomada por el satélite ISO, de las galaxias «Antenas». Los colores azul y rojo derivan de dos filtros utilizados por Vigroux y sus colaboradores para estudiar las zonas de intensa formación estelar. La zona azul que rodea el núcleo un poco rojizo indica una zona con una alta tasa de formación de nuevas estrellas. Comparando esta imagen con la tomada con luz visible y en el infrarrojo próximo, se advierte que el anillo es una peculiaridad de una sola de las galaxias. Incluso en el punto de mayor interacción, la emisión infrarroja es muy intensa.



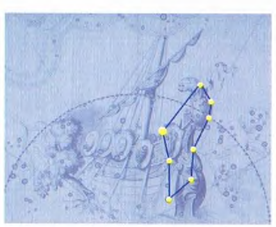
Arriba, un ejemplo de fusión entre galaxias. En este grupo (ESO 6050050) varias galaxias orbitan alrededor de otra galaxia central mayor, probablemente a la espera de ser fagocitadas como las demás galaxias de las que está formada la galaxia central.

NGC 3314 está formada por dos galaxias en forma de disco que ocupan casi el mismo lugar en el espacio. En la galaxia más pequeña se observan todavía los cuatro brazos espirales, ya distorsionados por el acercamiento.



LA POPA

Extendiéndose unos cuarenta grados en dirección norte-sur, la constelación de la Popa nos guía hacia la quilla de la Nave Argos a través de la Vía Láctea.



La Nave Argos, hoy desmembrada, dio vida a cuatro constelaciones; una de ellas es la Popa.



La constelación de la Popa nació cuando se decidió desmembrar la Nave Argos; como indica su nombre, la constelación de la Popa representa la parte posterior de la mítica embarcación.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

El eje determinado por Sirio y la estrella Delta del Can Mayor apunta en dirección sureste hacia Zeta *Puppis*, la estrella más brillante de la Popa. La mayoría de las demás estrellas se encuentran a occidente de ésta.

ESTRELLAS NOTABLES

Como la Vela, también la Popa carece de estrella Alfa. El astro más luminoso es Zeta (magnitud 2,3), una de las estrellas más calientes que se conocen, pues la temperatura en su superficie supera los 30.000 K.

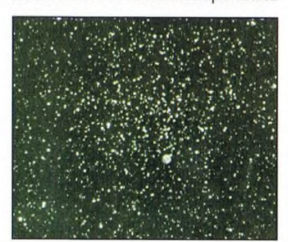
Rho es una estrella variable similar a Delta *Scuti*; su magnitud oscila entre 2,7 y 2,9 en un período brevísimo, de sólo 3 horas y 23 minutos, lo cual significa que en el curso de una noche se puede asistir a varios ciclos.

La estrella indicada por L es un sistema binario constituido por dos astros, uno de los cuales es de magnitud 4,9 y color azul, mientras que el otro varía entre la magnitud 2,6 y la magnitud 6,2 con un período de unos 140 días. No obstante, esta estrella roja, de superficie relativamente fría, no tiene un comportamiento muy regular: tanto el período como la amplitud de las fluctuaciones pueden variar respecto a los valores que hemos indicado. L1 y L2, que son los nombres de las dos estrellas, no están ligadas gravitacionalmente.

OBJETOS DE LA POPA

La constelación de la Popa contiene algunos objetos del catálogo de Messier: se trata de los tres cúmulos abiertos denominados M46, M47 y M93.

El primero es un objeto de octava magnitud formado por varios cientos de estrellas; aunque es visible con prismáticos, merece observarse con un telescopio. El área de bóveda celeste ocupada por M46 es igual al disco de la Luna llena y en la zona más septentrional del cúmulo se observa una nebulosa planetaria, NGC 2438, de undécima magnitud y de diámetro aproximadamente igual a 1'. Probablemente este objeto no forma parte del cúmulo, pues algunas estimaciones sobre su distancia dan valores del orden de 3.000 años luz, la mitad de la distancia que nos separa de M46, que es de 6.000 años luz.



El cúmulo M46 parece contener la nebulosa planetaria NGC 2438. Sin embargo, se trata probablemente de un efecto de perspectiva, pues la nebulosa está mucho más cerca que el cúmulo.

Próximo a M46 se encuentra M47, más luminoso aunque menos rico que el primero. A favor de M47, formado por unas cincuenta estrellas, juega la menor distancia, hasta el punto de que puede observarse a simple vista. En el límite de detección sin instrumentos se encuentra la estrella más brillante del cúmulo (magnitud 5,7).

M93 requiere al menos unos prismáticos para observarlo a una decena de grados al sur de los anteriores. Se trata de un objeto de séptima magnitud. Muestra unas 60 estrellas en un área de la bóveda celeste algo inferior al disco lunar.

Entre los demás cúmulos presentes en la parte de la Vía Láctea contenida en la constelación, vale la pena citar NGC 2477, de séptima magnitud y dimensiones aparentes similares a las de M93; está formado por unas 300 estrellas.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

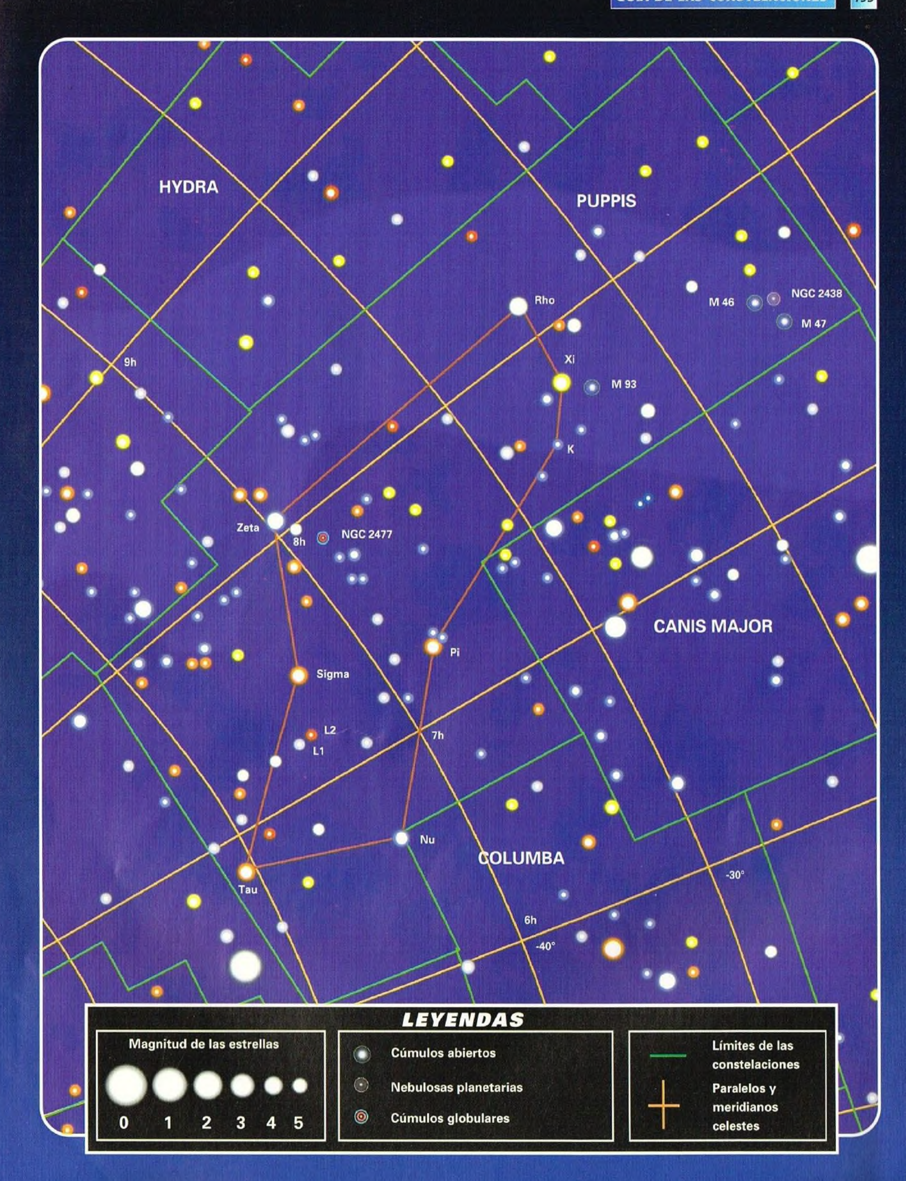
LA POPA

La Popa es la parte posterior de la mítica nave Argos, con la cual Jasón, junto con los valerosos argonautas, acometió la empresa que lo condujo a la Cólquida para robar el vellocino de oro. Esta constelación, como la Quilla, la Vela y la Brújula, formaba parte del agrupamiento llamado Nave Argos, que el abate Lacaille dividió en el siglo XVII en cuatro constelaciones de menor tamaño.

DÓNDE BUSCARLA

LA POPA

Es posible admirar la constelación de la Popa en invierno, ya que pasa por el meridiano hacia la mitad de la noche en el mes de enero, y permanece bastante baja sobre nuestros horizontes hacia el sur. Desde la mayor parte de las latitudes españolas, la Popa sólo es visible en parte. La constelación solamente aparece en su totalidad por encima del horizonte, aunque sólo sea durante unos pocos minutos, para latitudes al sur de 39° N, mientras que en las demás regiones se puede ver una porción progresivamente menor a medida que se va hacia el norte.
La Popa es inaccesible para los observadores situados más al norte de 79° N. Abarca una región del cielo comprendida entre 6 horas y 8 horas 25 minutos de ascensión recta, y entre −11 y −51° de declinación.


HYDRA
PUPPIS
CANIS MAJOR
COLUMBA
Rho
Xi
K
M 46
NGC 2438
M 47
M 93
9h
Zeta
8h
NGC 2477
Pi
Sigma
L2
L1
7h
Nu
Tau
-30°
6h
-40°
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos abiertos
Nebulosas planetarias
Cúmulos globulares
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LOS EFECTOS DE MAREA

Las mareas constituyen uno de los signos tangibles de la atracción de la Luna sobre la Tierra. Pero hay más: ¡también frenan la Tierra y alejan la Luna!



Los habitantes de las costas están acostumbrados a los efectos de marea provocados por la Luna sobre los mares y los océanos.

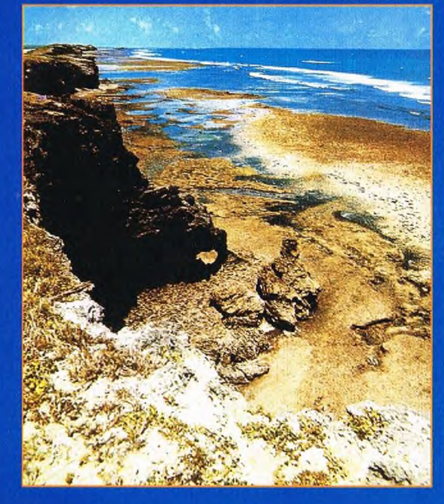
Las mareas constituyen una consecuencia de la atracción gravitacional que la Luna ejerce sobre nuestro planeta. Se trata de movimientos recurrentes de los mares y los océanos: el nivel del agua aumenta (marea alta) y se reduce (marea baja) periódicamente de un modo predecible. Éste es uno de los fenómenos observables en la Tierra ligado a factores astronómicos. También la atracción que ejerce el Sol sobre la Tierra contribuye a provocar efectos de marea, pero muy inferiores a los que crea la Luna, que está mucho más cerca.

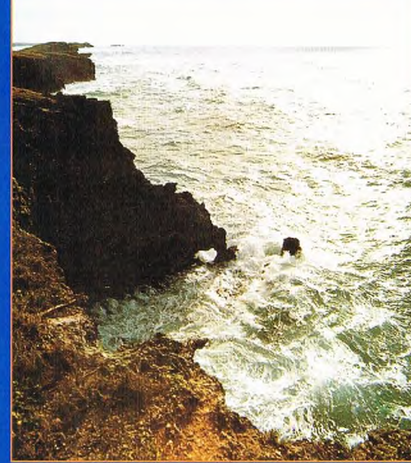
MAREAS ALTAS Y MAREAS BAJAS

Si imaginamos la Tierra como un cuerpo sólido completamente rodeado por el agua de un océano inmenso, el efecto de marea se traduce en la formación de dos protuberancias acuosas: una en la cara de la Tierra orientada hacia la Luna y la otra exactamente en la parte opuesta. A estas dos protuberancias les corresponde una marea alta. El aumento de nivel del agua en la parte de la Tierra más próxima a la Luna es fácilmente comprensible, porque allí es más intensa la atracción gravitacional ejercida por nuestro satélite. Pero es más difícil comprender por qué también se produce una marea alta en la cara opuesta de la Tierra.

La explicación reside en el hecho de que la Tierra sólida experimenta la fuerza de atracción ejercida por la Luna y esta fuerza disminuye a medida que aumenta la distancia a nuestro satélite. La parte del océano que se encuentra en la cara opuesta a la Luna experimentará una fuerza de atracción menor que la Tierra sólida; por ello, esta parte del océano será atraída hacia la Luna con una intensidad inferior que el centro de la Tierra y quedará «rezagada» respecto a éste, provocando la protuberancia de la marea alta. Por tanto, lo que causa el efecto de marea y las dos protuberancias es la diferente atracción gravitacional de la Luna sobre las distintas regiones de la Tierra en función de su distancia a nuestro satélite. Es como si los océanos que rodean la Tierra fueran «estirados» desde dos partes opuestas. El efecto neto del

Abajo, un tramo de la costa de Kenya en marea baja (a la izquierda) y en marea alta (a la derecha). Las mareas se retrasan cada día respecto al día anterior porque la Luna gira alrededor de la Tierra. Las protuberancias de las mareas están siempre en la dirección de la Luna y la siguen en su movimiento. Si P es un punto de la Tierra orientado hacia la Luna, al cabo de 24 horas exactas no presentará marea alta. Habrá que esperar el tiempo necesario para que P vuelva a corresponder a la protuberancia de marea alta.





fenómeno es una tracción en dos sentidos opuestos en la dirección en que se encuentra la Luna.

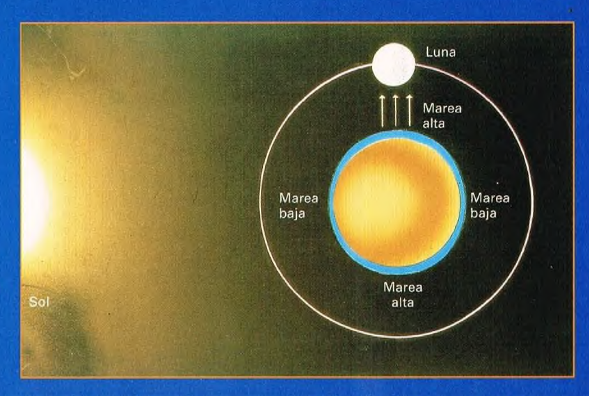
PERO LA TIERRA GIRA...

Por ahora no hemos tomado en consideración dos fenómenos importantes: la Tierra gira en torno a su eje a lo largo del día y la Luna gira alrededor de la Tierra con un período de 28 días.

Supongamos que nos encontramos en una localidad marítima situada en un punto de la superficie terrestre orientado hacia la Luna. Experimentaremos una situación de marea alta, porque estaremos en correspondencia con una de las dos protuberancias de marea. No obstante, con el paso de las horas la Tierra girará sobre sí misma y el nivel del agua irá disminuyendo hasta alcanzar, al cabo de seis horas, una marea baja. Unas seis horas después de esta primera marea baja se volverá a producir un aumento del nivel del mar debido al hecho de que nos encontraremos exactamente en la cara opuesta respecto a la Luna, la zona donde se produce la segunda protuberancia. Luego se producirá una nueva marea baja, doce horas después de la primera. A lo largo del día, pues, tendremos dos mareas bajas y dos mareas altas.

... Y LA LUNA GIRA ALREDEDOR DE LA TIERRA

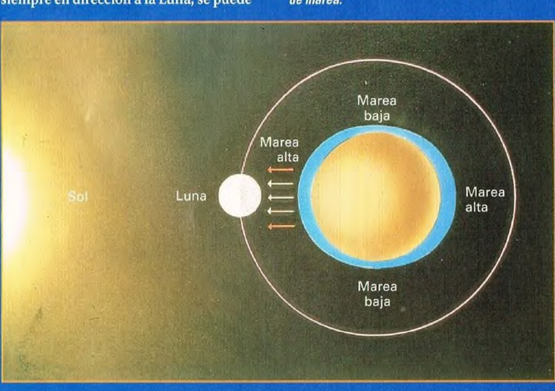
La rotación de la Tierra alrededor de su eje no constituye la única complicación, pues hay que tener en cuenta el hecho de que la propia Luna gira alrededor de la Tierra con un período de unos 28 días. Como las protuberancias de marea se forman siempre en dirección a la Luna, se puede decir que siguen a la Luna en su movimiento. Por ello, las mareas ocurren cada día con un retraso de 50 minutos respecto al día anterior.



Las flechas indican la intensidad de la fuerza gravitacional que la Luna ejerce sobre distintos puntos de la Tierra. Cuanto más largas son las flechas, tanto mayor es la intensidad de la fuerza gravitacional.

EL EFECTO DEL SOL SOBRE LAS MAREAS

La Luna es directamente causante de las mareas pero no es el único cuerpo celeste que hay que tener en cuenta, aunque sea el que más influye en el fenómeno. También el Sol tiene su importancia, sobre todo al exacerbar o atenuar la importancia de las mareas producidas por la Luna.



El efecto neto de la diferencia entre las fuerzas gravitacionales que se ejercen sobre las dos partes opuestas de la Tierra es el «estiramiento» de los océanos y la formación de protuberancias de marea.

En las situaciones de Luna nueva o Luna llena, la diferencia de nivel del mar entre las mareas alta y baja es máxima porque la Luna, la Tierra y el Sol están alineados y la atracción ejercida por el Sol sobre las masas oceánicas se suma a la que ejerce la Luna, amplificando el fenómeno. Se habla en tal caso de mareas vivas o equinocciales.

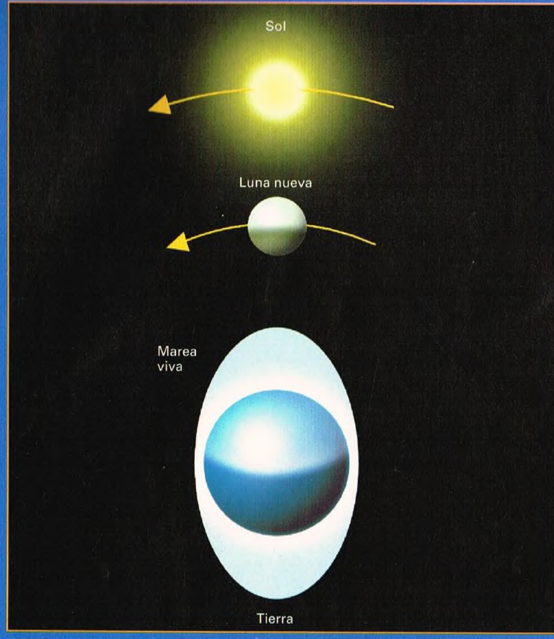
Cuando la Luna y el Sol están en ángulo recto respecto a la Tierra, las mareas altas son más modestas porque la atracción solar, al no tener la dirección de la lunar, reduce su intensidad. Se habla en tal caso de mareas muertas.

MAREAS SÓLIDAS EN LA LUNA

El fenómeno de las mareas es recíproco. También la Tierra provoca efectos de marea en la Luna, unos efectos que, por así decirlo, son «sólidos», ya que la Luna carece de agua. Se ha observado que la Luna, debido a esta atracción, no es perfectamente esférica, sino que está ligeramente alargada en dirección a nuestro planeta. Además, debido a la fuerza de marea ejercida por la Tierra, la Luna ha ido reduciendo su velocidad de rotación en torno a su propio eje hasta quedar obligada a mostrar siempre a la Tierra la misma cara.

LAS MAREAS FRENAN LA TIERRA Y ALEJAN LA LUNA

Las mareas producen también otros efectos que se reflejan incluso en el



aspecto del sistema Tierra-Luna. Las protuberancias de marea ejercen un cierto rozamiento que reduce la velocidad de rotación de la Tierra. La duración del día aumenta un segundo cada cien mil años. Esta pérdida de energía por parte de la Tierra tiene una consecuencia ulterior: el aumento de la distancia Tierra-Luna.

Dicho cambio tiene lugar a causa de la conservación del momento angular del sistema Tierra-Luna.

El momento angular es una magnitud física ligada a la velocidad de rotación y a la distancia entre los dos cuerpos del sistema. En un sistema aislado, el momento angular se conserva, esto es, mantiene el mismo valor con el tiempo. Si la Tierra gira menos velozmente, se reducirá su momento angular. Pero como el momento angular del sistema Tierra-Luna debe permanecer constante, aumentará el momento angular de esta última. Esto se traducirá en un aumento progresivo y lento de la distancia Tierra-Luna. En efecto, la distancia a la Luna crece unos centímetros cada año.

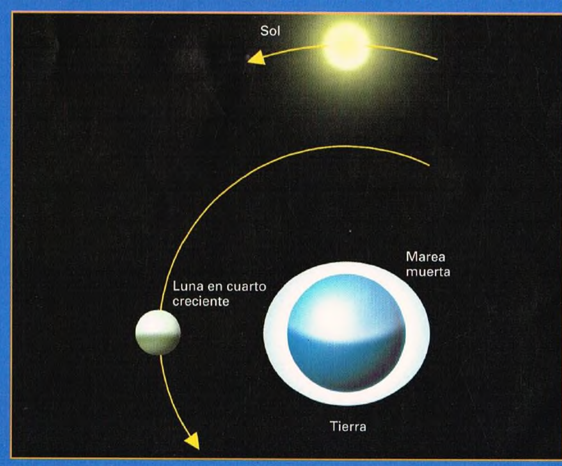
La reducción de la velocidad de la rotación terrestre y el alejamiento de la Luna durarán hasta que la Tierra acabe mostrando la misma cara a nuestro satélite, cosa que ocurrirá cuando el día terrestre tenga la misma duración que un mes lunar.

LOS EFECTOS DE MAREA ENTRE DOS CUERPOS CUALESQUIERA

Las mareas, pues, tienen una importancia que va más allá de la crecida de las aguas de los océanos. Tampoco son una peculiaridad del sistema Tierra-Luna, sino que hay que tenerlas en cuenta siempre que dos cuerpos se atraigan gravitacionalmente y estén lo bastante cerca el uno del otro. Se habla de cuerpos «próximos» cuando no es posible despreciar sus dimensiones físicas. En el cálculo del movimiento de los planetas alrededor del Sol, en cambio, no se tienen en cuenta los efectos de marea porque los planetas están tan lejos del Sol que pueden considerarse como puntos. Sus dimensiones físicas son despreciables y por tanto también lo son los efectos de marea que el Sol produce en ellos.

La influencia del Sol (a la izquierda) se manifiesta en la intensificación de la marea alta cuando el astro, la Luna y la Tierra están alineados. En tal caso se producen las llamadas mareas vivas.

Hay una reducción de los efectos de marea cuando los cuerpos están en cuadratura (abajo).



EL EFECTO DE MAREA

La potencialidad destructiva de los efectos de marea impediría a una hipotética astronave del futuro acercarse más allá de un cierto límite a cuerpos extremadamente densos y compactos como son, por ejemplo, las estrellas de neutrones. Estos astros tienen una masa de hasta tres masas solares concentrada en un radio de una decena de kilómetros. Su intenso campo gravitatorio produciría tales efectos de marea que destruirían cualquier cosa que llegara a acercarse a miles de kilómetros de su superficie.

El fenómeno es debido a que puntos distintos de la astronave están sometidos a aceleraciones gravitatorias notablemente diferentes, porque las diversas partes de la nave están a distinta distancia de la estrella. La acción de la marea se manifiesta como una tracción neta que «estira» la astronave que se aproxima a la estrella. La diferencia entre las aceleraciones gravitatorias en los dos extremos de la astronave viene dada por $a = 2\ GM\ r/d^3$, donde G es la constante de la gravitación universal, M la masa de la estrella, r la longitud de la astronave en dirección a la estrella y d la distancia entre la estrella y la astronave.







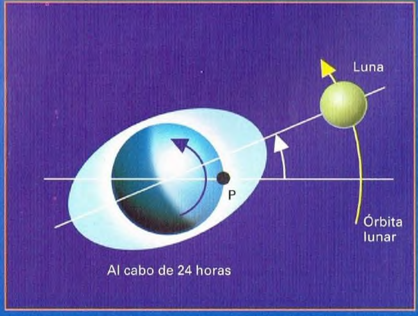
En el esquema se representa el fortísimo efecto de marea que sufriría una astronave si se aproximara a una estrella de neutrones.

PELIGROS DE LOS EFECTOS DE MAREA

El efecto de marea es debido a la diferencia entre las fuerzas gravitacionales que se ejercen entre los extremos de un cuerpo. En el caso de las mareas de las aguas oceánicas, los dos extremos son la superficie y el fondo oceánico de la porción más próxima y de la más alejada de la Luna. En consecuencia, cuanto mayor sea la distancia entre los extremos de un cuerpo tanto mayores serán sus dimensiones y mayor será también el efecto de marea. En el caso de dos hipotéticas astronaves situadas a la misma distancia de la Tierra, el efecto de marea ejercido por nuestro planeta será mayor sobre la astronave de mayor tamaño. Esto significa que será mayor la tracción que tenderá a «estirar» la astronave más grande. Los efectos de marea pueden ser tan intensos que lleguen incluso a romper y fragmentar el cuerpo sometido a la marea. Si la Luna se acercara mucho a la Tierra, los efectos de marea producidos en ella por nuestro planeta serían tan intensos que la deformarían hasta provocar su ruptura. Tampoco la Tierra saldría indemne del proceso: no sería destruida pero las mareas serían de tal magnitud que aniquilarían toda forma de vida en su superficie.

La Luna orbita alrededor de la Tierra en unos 28 días. Esto significa que, a igualdad de hora del día, cambian los puntos de la superficie terrestre en cuya vertical se encuentra la Luna y también son distintas las regiones afectadas por las mareas. En el esquema de abajo, el punto P en el cual se produce la marea un cierto día deja de estar en la vertical de la Luna al cabo de 24 horas.





LAS MISIONES MERCURY

Después del lanzamiento del Sputnik por parte de los soviéticos, el principal objetivo de estadounidenses y rusos fue el envío de un hombre al espacio. Una vez más, los rusos se adelantaron a los estadounidenses. Pero el desfase entre las dos superpotencias quedó superado cuando partieron las naves Mercury, primer paso hacia las misiones Apolo que llevaron al hombre a la Luna.



Después de que Yuri Gagarin orbitara alrededor de la Tierra a bordo del Vostok-1 en abril de 1961, el presidente Kennedy declaró: «Vamos rezagados». Hicieron falta unos diez meses para superar el retraso.

El 5 de mayo de 1961, tres semanas antes del discurso de Kennedy sobre el Apolo en el Congreso, en el que marcó el objetivo para la nación de hacer llegar un hombre a la Luna antes de finalizar la década, Alan B. Shepard Jr. fue el primer estadounidense en aventurarse en el espacio. Pero no fue una prueba válida para alcanzar a los soviéticos, pues el vuelo distaba mucho de ser orbital. Shepard recorrió en una cápsula Mercury, concretamente la Mercury-Freedom-7, una distancia de 485 kilómetros desde la rampa de lanzamiento en Florida y durante los quince minutos de vuelo alcanzó una altitud de 185 kilómetros.

La cápsula que albergaba al astronauta fue recuperada en el océano, lo cual demostró la viabilidad de un breve vuelo balístico. Shepard sólo se encontró en condiciones de ingravidez durante unos cuatro minutos. «Lo único que lamento –dijo Shepard– es que el vuelo haya sido tan corto.»

UNA CARRERA DE VELOCIDAD

Menos de tres meses después, el 21 de julio de 1961, Virgil Grissom pilotó otra cápsula Mercury, la Mercury-Liberty Bell-7, a lo largo del mismo recorrido suborbital. Su viaje de 16 minutos demostró que el vuelo de Shepard no había sido un éxito casual y que el camino emprendido era el correcto.

Cuando Grissom tocó el agua del océano, el mecanismo de explosión de la salida de emergencia entró en acción accidentalmente y abrió de par en par la escotilla. Grissom se mantuvo a flote nadando y fue repescado por un helicóptero, pero la cápsula se hundió.

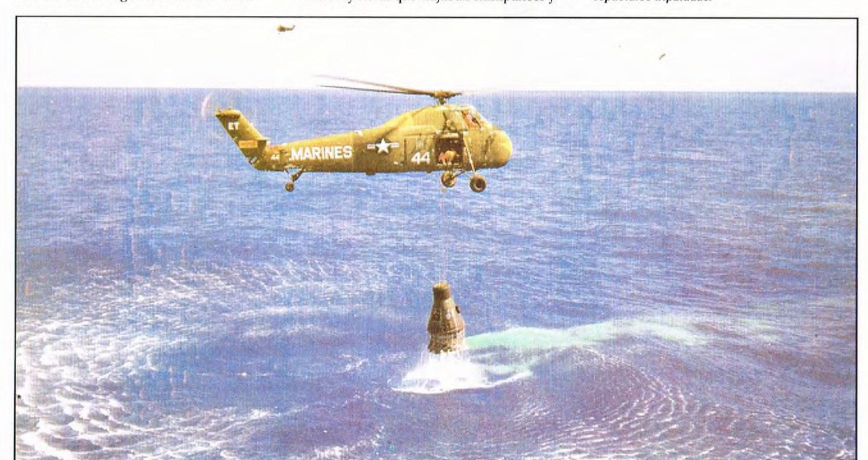
Shepard y Grissom habían sido lanzados por cohetes Redstone no lo bastante potentes para ponerlos en órbita alrededor de la Tierra. El Atlas, un misil balístico intercontinental, todavía estaba efectuando pruebas de lanzamiento con cápsulas Mercury en las que viajaban chimpancés y dispositivos automáticos. Hasta que el Atlas no estuviera a punto para el hombre, ningún estadounidense podría convertirse en un verdadero astronauta.

Mientras tanto, la Unión Soviética ponía en órbita otra cápsula con un hombre a bordo dos semanas después del vuelo de Grissom.

Finalmente, Estados Unidos recuperó el tiempo perdido con John Glenn Jr., que fue el primer astronauta estadounidense que completó un vuelo orbital con una cápsula Mercury, denominada por su propio tripulante Friendship-7 (Amistad).

Tras semanas de decepcionantes y enervantes aplazamientos, Glenn se encaminó a la rampa de lanzamiento antes de que apuntara el alba del 20 de febrero de 1962. Miles de personas observaban el Atlas y la cápsula Mercury desde las playas de

Abajo, un helicóptero recupera la nave Mercury-Freedom-7 con Alan Shepard en aguas del océano Atlántico. Era el 5 de mayo de 1961 y Estados Unidos iniciaba las misiones espaciales tripuladas.



Puntal aerodinámico
Cohete de salvamento con triple tobera
Cohetes de separación de la torre de salvamento
Paracaídas de estabilización cónico
Sensores infrarrojos de horizonte
Carenado aerodinámico
Depósito del agua oxigenada
Motores de control del cabeceo
Paracaídas principales y de reserva
Cabina de doble pared
Cubierta superficial
Panel de instrumentos
Mando de emergencia
Barra de mando de tres ejes
Motores de control del balanceo
Asiento anatómico con cinturón de seguridad
Escudo térmico de ablación
Tirantes de fijación de los retrocohetes
Retrocohetes
Cohetes de separación

A la izquierda, estructura de una nave Mercury. El astronauta iba en una posición extremadamente incómoda, casi tumbado en la base de la cápsula.

Cabo Cañaveral, y millones de personas, en todo el país, aguardaban el suceso ante sus televisores. A las 9.17 de la mañana, el Atlas dejó la base estadounidense y se encaminó hacia el espacio.

A diferencia de Titov, Glenn encontró muy placentera la sensación de ingravidez. La comparó casi con la sensación de euforia provocada por sustancias excitantes. El piloto no experimentó el menor trastorno, no le costó trabajar ni tampoco alimentarse con los tubitos de comida. Y el espectáculo que se le ofrecía a través de las ventanillas fue calificado por él como de «fantástico».

El vuelo, sin embargo, tuvo sus momentos dramáticos. Durante las tres órbitas, los tres pequeños cohetes que gobernaban automáticamente la estabilidad de la cápsula produjeron algunos problemas.

Glenn, demostrando su preparación y su sangre fría, recurrió al control manual.

En la cabina de pilotaje, una señal luminosa indicó que el escudo antitérmico, formado por plástico reforzado con vidrio, se había desprendido de la cápsula y ya no estaba firmemente adherido a la Mercury.

De haber caído antes de tiempo, Glenn habría quedado reducido a cenizas durante el retorno de la cápsula a la Tierra a través de la atmósfera. Se decidió no abandonar el alojamiento de los cohetes de freno después de su combustión, esperando que las correas de sujeción de los retrocohetes, que pasaban por encima del escudo antitérmico, lo mantendrían en su lugar.

Cuando la Mercury entró en la atmósfera se vivió un momento extremadamente dramático, pues los retrocohetes se desprendieron. Al verlos pasar por delante de las ventanillas de la cápsula, Glenn pensó que el escudo antitérmico estaba a punto de desintegrarse.

Pero todo salió bien: el escudo permaneció en su lugar y la cápsula cayó a poca distancia del barco de recuperación. Glenn se había convertido en el primer astronauta estadounidense que realizaba un vuelo orbital.



Fotografía del interior de la cápsula Mercury-9, en la que voló L. Gordon Cooper. En aquella época (comienzos de los años sesenta), los soviéticos estaban desarrollando el programa Vostok.



Dibujo de la nave Mercury, utilizada en vuelos orbitales. Su forma era cónica, con una altura de 2,9 m y una anchura en la base de 1,9 m.

LAS MISIONES MERCURY

Nombre	Astronautas	Partida	Duración	Órbitas
Freedom-7	Alan B. Shepard Jr.	5-5-1961	15m 22s	suborbital
Liberty Bell-7	Virgil I. Grissom	21-7-1961	15m 37s	suborbital
Friendship-7	John H. Glenn Jr.	20-2-1962	4h 55m 23s	3
Aurora-7	M. Scott Carpenter	24-5-1962	4h 56m 5s	3
Sigma-7	Walter M. Shirra Jr.	3-10-1962	9h 13m 11s	6
Faith-7	L. Gordon Cooper Jr.	15-5-1963	34h 19m 49s	22

EL CHIMPANCÉ ENOS

Hay que recordar, de todas maneras, que el vuelo de Glenn fue precedido por uno similar realizado por el chimpancé Enos, adiestrado en poco tiempo para el espacio.

Los planificadores del Apolo, la cápsula destinada a llevar hombres a la Luna, se sintieron aliviados: el primer paso parecía ir en la dirección correcta.

El diseño de aquella cápsula había sido obra de miles de personas. Entre los técnicos que más se alegraron estaba Julian Allen, un anciano ingeniero que había trabajado en la NASA.

A él se debe la forma puntiaguda de la Mercury, una forma que después del vuelo fue considerada la idónea.

Después del vuelo de Glenn, otros tres astronautas se sucedieron en órbita a bordo de la Mercury. Scott Carpenter, el segundo estadounidense que dio la vuelta a la Tierra, partió el 24 de mayo de 1962. Su vuelo habría debido confirmar los objetivos de Glenn. Tres órbitas alrededor de la Tierra y finalmente el amaraje, pero este último acabó de modo emocionante. Debido a un error de 25° en la orientación de la cápsula durante la reentrada en la atmósfera, Carpenter fue a parar a 400 kilómetros del punto previsto de amaraje, por lo que durante varios minutos quedó sin contacto con el barco enviado a recogerlo. Pero Carpenter estaba bien y el viaje terminó felizmente.

Algo menos de cinco meses después, el 3 de octubre de 1962, le correspondió volar a Walter Shirra, el cual realizó con la Mercury un viaje de nueve horas que le permitió dar seis vueltas a la Tierra. Fue un viaje perfecto.

Con las 22 órbitas completadas en mayo de 1963 por Gordon Cooper, el más joven de los «siete primeros» astronautas seleccionados por la NASA, concluyó el proyecto Mercury. Cooper, y no por propia voluntad, tuvo que recurrir a una reentrada manual.

Un problema en el piloto automático obligó al astronauta a hacerse cargo de los mandos manuales; con la ayuda de Glenn desde la Tierra, los utilizó a la perfección y llevó la Mercury a un amaraje impecable.

Después de seis viajes con hombres a bordo, con un total de 51 horas y 40 minutos, el proyecto estadounidense tocaba a su fin. Algunos astronautas habían pedido su prolongación, pero los rusos apremiaban con misiones cada vez más complejas. Éstos, en efecto, lanzaron naves que empezaron a permanecer en órbita más de un día. La desventaja, pues, se acumulaba. Por ello, los estadounidenses se vieron obligados a pasar a una nueva fase, con vuelos más largos y con más hombres a bordo. Nacía así el proyecto Gemini.

CÓMO ESTABA HECHA LA MERCURY

La cápsula que puso en órbita al primer estadounidense tenía forma troncocónica, una altura de 2,47 m y un diámetro que en la base medía 1,88 m. El astronauta podía mirar al exterior a través de una ventanilla trapezoidal. A diferencia de las naves rusas Vostok y Vosjod, que, debido a su forma esférica, no permitían ningún control, las Mercury estaban diseñadas para un control aerodinámico en la fase de reentrada.
La cápsula estaba dotada de un escudo antitérmico que durante la reentrada en la atmósfera iba consumiéndose poco a poco y desprendiendo calor. Una serie de motores, en distintas posiciones y con diferentes potencias, tenían el cometido de soltar la cápsula de la última etapa antes de entrar en órbita, frenar la nave antes de la reentrada y controlar su posición en el espacio.

Durante la reentrada, a unos 7 km de altura, se abría un paracaídas para iniciar el frenado de descenso, mientras que otro mayor lo hacía a 3 km de la superficie del mar, que, a diferencia de las cápsulas rusas, era el medio elegido para el regreso a la Tierra. A bordo, la energía necesaria para el funcionamiento de la cápsula procedía de baterías de plata-cinc, que suministraban 24 voltios de corriente continua. En la parte superior había una estructura con dos tipos de cohetes. El primero servía para separar la cápsula con los hombres a bordo del resto del cohete en caso de avería. El segundo separaba la estructura de la cápsula una vez iniciado normalmente el vuelo, cosa que siempre sucedió.

Abajo, lanzamiento de la nave Mercury-Friendship-7, con John Glenn a bordo. Este astronauta dio tres vueltas a la Tierra y a su regreso fue aclamado como un héroe nacional.





EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

FOBOS Y DEIMOS

ESTRELLAS Y GALAXIAS

NEBULOSAS PLANETARIAS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

SERPIENTE

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

NEAR EARTH ASTEROID RENDEZVOUS

EL USO DEL ESPACIO

BASES ESPACIALES SOVIÉTICAS

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

41



9 788439 554219 10041

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS O LIBRERÍAS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de **EL UNIVERSO.** Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo quiosco o librería facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Edita: Editorial Planeta-DeAgostini, S.A., Barcelona

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

Impresión: Gráficas Estella, S.A., Estella, Navarra.
Impreso en España - Printed in Spain Enero 1999

©Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: I.G.D.A.: 179ab.izq., ab.der., 180ab.der.; I.G.D.A./NASA: 165ab.izq., 177ar.; NASA/JPL: 162ab.izq.; NASA: cubierta, 162c.der., 166ar.der., 168-169, 172c., 174ar.der.; SEDS: 170ar.izq., 171ar.izq.; IKI: 162ab.der., 163ar.c., ar.der., ab.izq., ab.c., ab.der.; Phil Stooke/NSSDC/NASA: 163ar.izq., 164ab.der.; Calvin J. Hamilton: 164ar.izq.; NSSDC/NASA: 164ab.izq.; NASA/JPL: 165ar.der.; Andy Steere: 169ab.der.; Kitt Peak National Observatory: 170 c.izq., c.der., ar.der.; Anglo-Australian Observatory: 170ab.izq.; NSSDC: 175ab.izq., 176ar.izq., ab.der., 177ab.der.
Dibujos: Daniele Festa: 171ar.der., 174ab.der., 175ar., 178, 180 ar.der.; Osservatorio Astronomico Brera: 172ar.der.; DI.DO.t: 173.

FOBOS Y DEIMOS

Marte, el planeta rojo, tiene dos satélites naturales: Fobos y Deimos, que, a pesar de la distancia relativamente pequeña que separa el sistema marciano de la Tierra, siguen siendo dos mundos llenos de misterios.

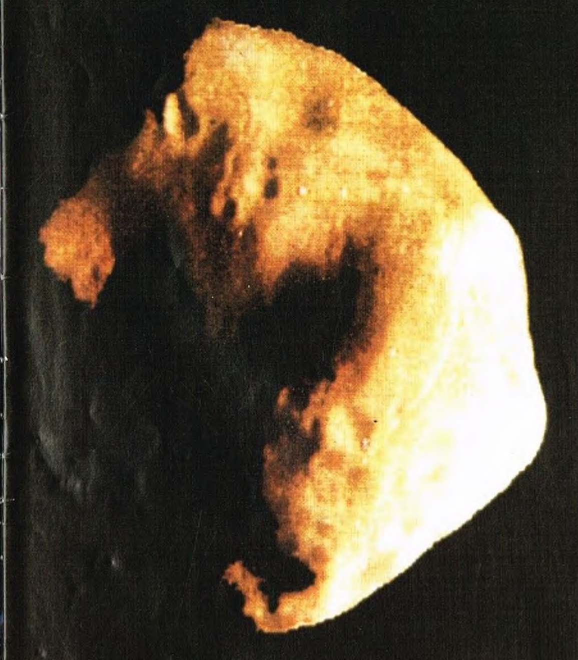


Como la mayor parte de los planetas del sistema solar (las únicas excepciones son Mercurio y Venus), también Marte posee satélites naturales. El planeta rojo tiene dos lunas, Fobos y Deimos, nombres que en griego significan, respectivamente, «miedo» y «terror». Les dieron estos nombres en recuerdo de los compañeros del dios de la guerra citados en el libro XV de la *Ilíada*.

Abajo, Fobos y Deimos, los dos satélites de Marte: son pequeños, irregulares y poco conocidos.

UNA AFORTUNADA COINCIDENCIA

Curiosamente, la hipótesis de que Marte tenía dos satélites fue apuntada mucho antes de que el astrónomo estadounidense Asaph Hall (1829-1907) los descubriera en agosto de 1877 con el telescopio del Observatorio Naval de Washington. Un siglo y medio antes, el escritor irlandés Jonathan Swift había hecho afirmar a los científicos de Laputa, la isla de *Los viajes de Gulliver*, que Marte poseía dos lunas. También Voltaire, en el libro *Micromegas*, escribió que el habitante de Sirio y el de Saturno, al pasar por las proximidades de Marte, «vieron dos lunas que hacen de satélites de este planeta y que habían escapado a las miradas de los astrónomos». La explicación de tanta «visión anticipada» está en el hecho de que ambos escritores conocían la teoría de Kepler, según la cual, dado que la Tierra tenía un satélite y Júpiter cuatro, Marte debía tener necesariamente dos, lo que llenaría el hueco de la serie geométrica. Naturalmente, esta teoría, aunque sugestiva, carece de fundamento, pero, en el caso del planeta rojo, una afortunada coincidencia hizo que la previsión fuera exacta.







Arriba, Marte y sus satélites desde la Tierra. En esta fotografía, el disco del planeta está sobrexpuesto para que puedan verse también sus dos pequeñas lunas, mucho más débiles que el astro principal, observable a simple vista. Éste no es el caso de Fobos y Deimos, cuyas magnitudes respectivas son 11 y 12.

DOS MUNDOS MISTERIOSOS

A pesar de que se sabe mucho de Marte, gracias sobre todo a las misiones Viking de los años setenta, se conoce muy poco de sus satélites.

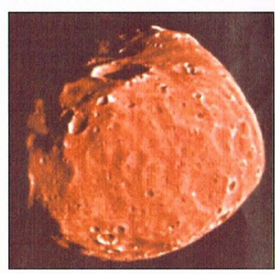
Aquellas dos sondas, famosas por haber liberado unos módulos que aterrizaron suavemente en la superficie de Marte, permitieron obtener las pocas informaciones de que disponemos hoy sobre estas pequeñas lunas.

Las imágenes que las reproducen las muestran como dos objetos de forma acusadamente irregular. Comparadas con otros cuerpos del sistema solar, recuerdan los asteroides Gaspra e Ida, visitados en tiempos más recientes por la sonda Galileo. En efecto, Fobos y Deimos son en muchos aspectos parecidos a asteroides y hasta pueden asimilarse a elipsoides triaxiales.

Como ya se ha dicho, sus dimensiones son pequeñas: Fobos tiene un diámetro máximo de 27 km, y Deimos de 15 km.

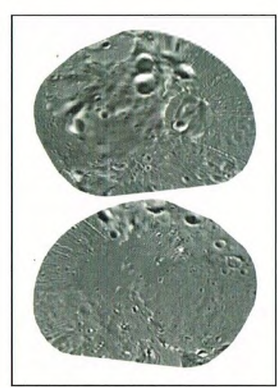


El aspecto de Fobos está dominado por el cráter Stickney, de 10 km de diámetro, más de un tercio de la dimensión mayor del satélite.



Fobos es la mayor de las dos lunas marcianas, dos cuerpos rocosos de forma irregular, cuya existencia se conjeturaba ya antes de ser descubiertos, según una hipótesis carente de fundamento.

Arriba, una imagen cercana de Fobos tomada por la sonda homónima el 25 de marzo de 1989. La imagen ha sido reprocesada para mejorar su calidad.



Mapa de Fobos. Estas dos vistas muestran el aspecto del satélite en su lado anterior (arriba) y en el posterior (abajo).



En los últimos años, después de las misiones Viking, las únicas imágenes cercanas tanto de Fobos como de Deimos las obtuvo la sonda rusa Phobos en 1989. Aquí puede observarse que el satélite gira lentamente sobre sí mismo.



Detalle de Fobos tomado por la sonda Phobos 2. Muestra las estrías producidas por el choque violento que formó el cráter Stickney y que casi desintegró el mayor de los satélites marcianos.

El albedo, es decir, el grado de reflexión de la luz, es muy bajo: el 6% en Fobos y el 7% en Deimos. La superficie presenta muchos cráteres, y de su número y de la luz reflejada se deduce que su composición es semejante a la de una clase de asteroides formados preferentemente por rocas carbonáceas (asteroides de tipo C).

La densidad de cráteres presentes en la superficie de ambos cuerpos hace estimar su edad en unos 3.000 millones de años, algo inferior a la del sistema solar. Por tanto, nos hallamos en presencia de dos objetos muy antiguos, si no primordiales.

Las propiedades globales de los dos satélites de Marte son muy parecidas, aunque ambos cuerpos, estudiados con detalle, presentan sensibles diferencias.

FOBOS

Es la luna mayor de Marte y también la más cercana al planeta. Su órbita tiene un radio algo inferior a los 9.400 km y, por su gran proximidad al planeta a cuyo alrededor gira, existen zonas de este último desde las cuales resulta invisible.

A causa de su baja distancia orbital, Fobos posee otra propiedad singular: como se halla a una altura inferior a la de una órbita síncrona, surge por occidente y se pone por oriente. En realidad, cada planeta tiene una órbita en la cual el período orbital iguala al período de rotación del planeta. En el caso de la Tierra, esta distancia es de unos 36.000 km: un satélite que se hallase a esta distancia giraría alrededor de nuestro planeta en un día y, por tanto, se encontraría siempre sobre la vertical de un mismo punto de la superficie terrestre. Respecto a este punto –y a todos aquellos desde los cuales resultase visible–, el satélite ni saldría ni se pondría nunca, sino que permanecería siempre fijo en la misma posición sobre la bóveda celeste. Un satélite que estuviese a una distancia superior, como nuestra Luna, tendría una velocidad

DATOS

FOBOS

Fecha de descubrimiento: 12-8-1877
Dimensiones: 27 x 21 x 19 km
Velocidad de fuga: 10,3 m/s
Albedo medio: 0,06
Distancia a Marte: 9.400 km
Densidad media: 2 g/cm³

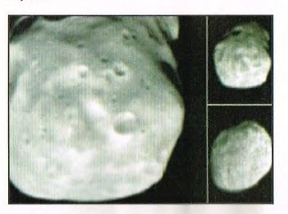
Ésta es una de las pocas imágenes enviadas por la sonda rusa Phobos 2 antes de perder el contacto con la Tierra. Es una fotografía sugestiva que muestra Fobos con Marte. Es evidente la notable diferencia de albedo entre los dos objetos: Marte aparece mucho más claro que su satélite, lo que indica que las rocas de su superficie reflejan más eficazmente la luz solar.



Fotografía de Fobos tomada el 25 de marzo de 1989. Las imágenes fueron procesadas por un equipo internacional de la Unión Soviética, Bulgaria, Alemania, Finlandia, Gran Bretaña y Estados Unidos.



Fotografía de Fobos tomada por la sonda homónima el 28 de febrero de 1989. El proyecto ruso Phobos incluía dos sondas, una de las cuales consiguió llegar a su objetivo y realizar algunos experimentos antes de perderse en el espacio.



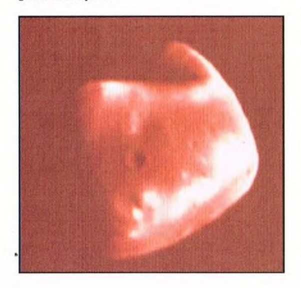


El satélite menor de Marte, Deimos, que orbita el planeta a mayor distancia, siguiendo una órbita síncrona con la rotación diurna. Esto hace que Deimos se halle siempre en la vertical de un mismo punto de Marte, como ocurre con los satélites geoestacionarios de la Tierra.

angular inferior, lo que significa que, para dar una vuelta completa alrededor del planeta, emplearía un tiempo superior a un día, tiempo que, en el caso de la Luna, es de casi un mes: por eso la vemos aparecer en oriente y ponerse en occidente. Si la distancia fuese inferior a la que requiere la órbita síncrona, ocurriría lo contrario. Éste es el caso de Fobos.

Como su período orbital es inferior al día marciano, está perfectamente sincronizado con el de rotación de Fobos alrededor de su propio eje. Éste es el típico efecto de las fuerzas de marea: actúan cuando dos objetos interaccionan, como en un sistema

En esta imagen de Deimos puede verse que muchos cráteres de la superficie de este cuerpo están cubiertos por una espesa capa de polvo y detritos que casi los llenan por completo. En la superficie también pueden distinguirse algunos grandes bloques.



planeta-satélite. También en el caso de la Luna y de muchos otros satélites, el período de rotación coincide con el de revolución. El resultado es que siempre presentan la misma cara a los respectivos planetas.

El aspecto de Fobos está dominado por el gigantesco cráter Stickney, de 10 km de diámetro, es decir, más de un tercio de la dimensión máxima de todo el cuerpo celeste. Se trata de un cráter de impacto provocado por una colisión que sacudió el satélite y amenazó con destruirlo por completo. De esta formación parten numerosas estrías claras que atraviesan la superficie de Fobos de un extremo a otro; presumiblemente, se deben al choque que originó el gran cráter y no son más que gigantescas fracturas producidas por el impacto. Sus dimensiones son notables, sobre todo comparadas con las de Fobos: tendrían de 100 a 200 m de ancho, es decir, más o menos la longitud de un campo de fútbol. Hay otros dos grandes cráteres producidos por colisiones, pero su diámetro no supera los 5 km: son Hall y Roche.

Fobos está cubierto por una capa de regolito, es decir, detritos cuyo espesor se calcula en un centenar de metros. Es difícil explicar de qué modo este pequeño cuerpo ha podido cubrirse con un depósito tan grueso. Son varias las hipótesis que se han sugerido, pero ninguna es satisfactoria: se ha pensado en una influencia del campo gravitatorio de Marte, y también en una acción de «barrendero» ejercida por el satélite, que habría recogido el polvo que encontraba a lo largo de su órbita. Pero en ambos casos existen argumentos en contra muy válidos. En efecto, simulaciones numéricas demuestran que la influencia de Marte no interviene en la recogida de detritos, y una capa tan gruesa implicaría, a lo largo de la órbita de Fobos, la diseminación de una cantidad de polvo demasiado grande. Otra explicación es que el material que recubre el satélite habría sido producido por los impactos que originaron los cráteres de su superficie. Pero esta hipótesis olvida la baja gravedad superficial del cuerpo (igual a una milésima parte de la terrestre). De hecho, el problema del regolito de Fobos sigue siendo un misterio.

DEIMOS

Si Fobos presenta grandes problemas, no son menores los de Deimos. A diferencia de su hermano mayor, el satélite menor de Marte no tiene cráteres que superen los 2,3 km de diámetro. Además, carece de los sistemas de estrías que surcan la superficie de Fobos. Una propiedad común a ambos satélites es su período de rotación síncrono con el orbital, pero la distancia de Deimos

Fotomosaico de Deimos, el satélite más externo de Marte. La parte de arriba es la que está vuelta hacia el interior de la órbita. En este tipo de proyecciones, llamadas «conformes», no se respetan las escalas de modo uniforme, sino que varían, dilatándose desde el centro hacia los bordes del mapa.



DATOS

DEIMOS

Fecha de descubrimiento: 10-8-1877
Dimensiones: 15 x 12 x 11 km
Velocidad de fuga: 5,7 m/s
Albedo medio: 0,07
Distancia a Marte: 23.400 km
Densidad media: 1,7 g/cm^3



En el borde de Deimos se observan manchas más claras con respecto al medio circundante. Son el resultado de derrumbes de detritos que hacen emerger el material subyacente, más reflectante.

a Marte es tal, que se halla en una órbita síncrona y, por tanto, está siempre sobre la vertical del mismo punto de Marte.

Deimos también está cubierto por una espesa capa de regolito, probablemente más gruesa incluso que la de Fobos. Esta capa es evidente porque llena casi por completo varios cráteres. Además, aparece diferenciada según su composición, ya que sobre la superficie de este satélite hay manchas más claras que no se observan en el satélite mayor y que se explican como derrumbes de los detritos más oscuros, que han puesto al descubierto el material de debajo, más reflectante. En tal caso, al enigma del origen del regolito que recubre la pequeña luna, habría que sumar el misterio de la causa de los movimientos del material. En cualquier caso, no está claro qué mecanismo podría haber provocado los movimientos de los detritos.

EL ENIGMA DEL ORIGEN

Otro problema que comparten los dos cuerpos que orbitan alrededor del cuarto planeta es su origen. Su gran semejanza con un tipo determinado de asteroides puede inducir a suponer que los dos satélites fueron capturados por Marte, tanto más cuanto que la franja principal de los asteroides está más allá de la órbita marciana. Perturbaciones causadas por Júpiter podrían haber empujado algunos cuerpos menores hasta las regiones internas del sistema solar y, por tanto, haber favorecido un proceso de captura. Sin embargo, la forma de las órbitas de Fobos y Deimos, muy regulares y colocadas en planos casi coincidentes con el ecuador del planeta rojo, hacen que una explicación de este tipo sea bastante inverosímil.

También hay otra hipótesis sobre el origen de Fobos y Deimos: que fuera el resultado de la fragmentación de un satélite único que habría orbitado en torno a Marte. La forma de ambos cuerpos es la típica de fragmentos producidos por una colisión violenta entre dos objetos.

Su origen, sin embargo, hay que buscarlo retrocediendo en el tiempo; incluso, si hubieran sido producidos por un objeto único destruido por un choque, esto habría ocurrido hace varios miles de millones de años. Comparados con Gaspra e Ida, estos dos cuerpos son sensiblemente más viejos.

MISIONES DESAFORTUNADAS

Nuestros conocimientos sobre Fobos y Deimos habrían podido ser más detallados si no hubiesen fallado las misiones Phobos proyectadas por los rusos. En 1988 se lanzaron a Marte dos sondas dotadas de complejos aparatos, incluidos, naturalmente, módulos de aterrizaje y de perforación. Pero una de ellas, Phobos 1, se perdió casi inmediatamente por una orden errónea enviada desde la Tierra, y con la segunda el contacto por radar se interrumpió misteriosamente cuando faltaba poco para el aterrizaje del módulo en Fobos. Al igual que las misiones Phobos, también fracasaron otras lanzadas más recientemente a Marte. La Mars Pathfinder tampoco ha aportado más información.



Imagen cercana de Deimos obtenida por la sonda Viking 1. La superficie de este satélite es más lisa que la de Fobos, aunque está repleta de cráteres de edades diversas.

NEBULOSAS PLANETARIAS

Las nebulosas planetarias son el resto de estrellas agonizantes. Su aspecto y sus colores, observados con grandes telescopios, son increíblemente fascinantes. Pero también nuestro Sol, algún día, dará lugar a una nebulosa planetaria...



Una de las nebulosas planetarias más curiosas es la MyCn18, conocida también con el nombre de Nebulosa Clepsidra por su forma característica. La imagen de arriba, tomada con el telescopio espacial Hubble, muestra sus detalles. Los diversos matices, obtenidos coloreando la imagen artificialmente por ordenador, indican los diversos elementos que hay en la nebulosa: nitrógeno (rojo), hidrógeno (verde) y oxígeno (azul). La zona central, vagamente parecida a un ojo gigantesco, está compuesta de gas expulsado por la estrella progenitora en una fase posterior con respecto a las otras regiones de la Clepsidra. El puntito luminoso en el interior del ojo es una enana blanca.



Las nebulosas son, junto con las galaxias, los cuerpos celestes más espectaculares, tanto por la variedad de formas y dimensiones como por sus colores, que les dan una fascinación y una belleza absolutamente únicas. Naturalmente, en el universo hay diversos tipos de nebulosas, que se clasifican según su morfología, sus dimensiones y, cuando es posible, también teniendo en cuenta su origen. Un caso particular es el de las nebulosas planetarias. Manteniendo las debidas proporciones y todas las distinciones necesarias, las nebulosas planetarias pueden considerarse algo así como las hermanas menores de las supernovas. Lo mismo que en estas últimas, el origen de la nebulosidad está relacionado con las fases terminales de una estrella: más espectaculares en las supernovas y más tranquilas en las nebulosas planetarias. Además, ambas ocultan en su interior los restos de la estrella que las generaron: respectivamente, una estrella de neutrones o un agujero negro, y una enana blanca.

LAS PRIMERAS OBSERVACIONES

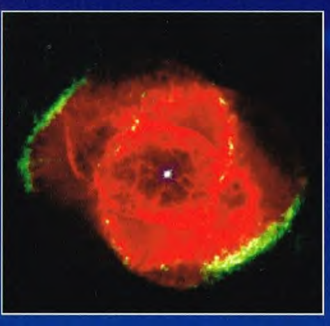
El primer astrónomo que formuló una hipótesis sobre la naturaleza de las nebulosas planetarias fue el inglés William Herschel, el mismo que les dio su nombre. Herschel supuso, erróneamente, que tales nebulosas eran nubes de gas interestelar en vísperas de condensarse en estrellas. Sólo a principios de nuestro siglo esta hipótesis pudo ser desmentida gracias a meticulosas investigaciones espectroscópicas efectuadas sobre una muestra de nebulosas planetarias. Estas observaciones revelaron especialmente que era frecuente que las rayas de emisión observadas en los espectros de las

Fotografía de la nebulosa planetaria Abell 78, en la constelación del Cisne. La nebulosa tiene una magnitud total de 14,3 aproximadamente, y la de la estrella central es de 13,3. Sus dimensiones angulares son unos 100''.

EL ORIGEN DEL NOMBRE: UN EQUÍVOCO HISTÓRICO

A pesar de su nombre, las nebulosas planetarias no tienen nada que ver con los planetas. El nombre se debe al astrónomo inglés William Herschel. En 1780, Herschel inició un estudio detallado de algunos cuerpos celestes de forma difusa y, por tanto, no propiamente estelares. En un trabajo publicado varios años más tarde, Herschel se refería a un grupo especial de estos objetos que, observados al telescopio, aparecían como discos planetarios con un color verdoso, recuerdo vago de Urano. Pero hoy sabemos que, en realidad, esta coloración no se debe a la presencia de gas metano, como ocurre en aquellos dos planetas, sino a la emisión de oxígeno dos veces ionizado y presente en el gas nebular. Basándose en esas semejanzas, Herschel dio a estos cuerpos el nombre de nebulosas planetarias.

Otro astrónomo de la época, Charles Messier, también contribuyó a crear el equívoco. En 1771, mientras trabajaba en su famoso catálogo, Messier introdujo en el lugar número 57 un objeto nebular, M57, en la constelación de la Lira, que, según las notas difundidas por su descubridor, era «similar a un planeta como Júpiter, envuelto en una nebulosidad difusa...».



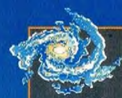
A menudo, las formas especiales de las nebulosas planetarias sugieren nombres francamente pintorescos. Es el caso, por ejemplo, de la nebulosa NGC 6543, más conocida con el nombre de Ojo de Gato. La imagen, tomada desde el telescopio Hubble, nos la presenta en toda su belleza. Probablemente, la estrella que formó la nebulosa era parte de un sistema binario, y su compañera podría ser la estrella brillante reconocible en el centro de la estructura.

nebulosas se desdoblaran en dos líneas simétricas respecto a la longitud de onda prevista. Este resultado se debe a un efecto bien conocido en astronomía: el efecto Doppler, que hace que la longitud de onda de una raya en emisión producida por una fuente que se mueve hacia el observador sea menor que la correspondiente a una fuente que se aleja. La conclusión inevitable era que las nebulosas planetarias se estaban expandiendo a velocidades variables entre 5 y 100 km/s. Así pues, no podían ser lo que Herschel había supuesto, es decir, nubes de gas en fase de condensación. Hacia mediados de los años cincuenta, el astrofísico soviético Shklovsky estableció las bases de un proyecto más realista; según él, las nebulosas planetarias se habrían formado, con toda probabilidad, con chorros de gases expulsados por estrellas viejas durante las últimas etapas de su evolución.

LA FORMACIÓN DE LAS NEBULOSAS PLANETARIAS

La formación de una nebulosa planetaria es un proceso íntimamente relacionado con las etapas finales de la evolución de una estrella de poca masa. Al final de la etapa de gigante roja, las regiones centrales de la estrella empiezan a contraerse lentamente hasta constituir una enana blanca. Como consecuencia de la contracción, el núcleo estelar se calienta por la elevada atracción gravitatoria, aunque no llega a una temperatura suficiente para provocar nuevas reacciones nucleares. El calor producido empuja hacia el exterior la capa de gas que lo recubre, con lo que origina un viento estelar que «sopla» durante varios miles de años.

En las fases iniciales, la pérdida de masa de la estrella prosigue a un ritmo aproximado de una millonésima de masa solar al año, para aumentar en un factor 100 en las fases más avanzadas. Este fenómeno se ve facilitado por las dimensiones de la estrella, expandida como gigante roja hasta unas 70 veces su radio original, lo que atenúa su fuerza de atracción gravitatoria. Seguidamente, parte del gas expulsado en el espacio (0,1-0,2 masas solares) se condensa alrededor del núcleo y forma una estructura nebular conocida con el nombre de nebulosa planetaria.

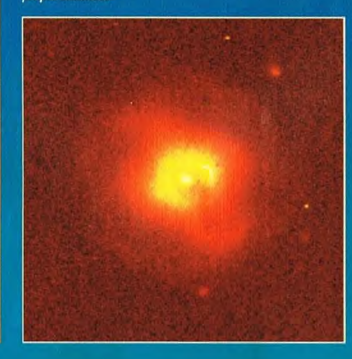


ESTIMACIÓN DE LA EDAD Y DE LA DISTANCIA

Como en el resto de los cuerpos celestes, también en las nebulosas planetarias es fundamental tener una estimación indirecta de su edad. Esto se consigue combinando el tamaño de la nebulosa, deducido, a su vez, de la distancia y la velocidad de expansión medida espectroscópicamente. Así, utilizando una simple relación del tipo tiempo = espacio / velocidad, es posible deducir el tiempo transcurrido entre el momento en que el gas fue expulsado de la estrella progenitora y el momento actual, es decir, la edad de la nebulosa. Por término medio, las edades que se obtienen son de unos 30.000 años. Estas estimaciones, aunque aproximadas, son de gran importancia para intentar la reconstrucción de la evolución no sólo de la nebulosa, sino también de la estrella progenitora.

En este tipo de cálculos, la incertidumbre mayor es la distancia a la nebulosa, de la cual las técnicas actuales proporcionan un valor raramente más preciso que el 50%. Como no existe un método directo, los astrónomos se basan principalmente en la comparación entre el diámetro angular y la luminosidad, así como en nebulosas de distancias conocidas. En algunos casos se utiliza un método parecido para calcular también la distancia de los restos de una supernova. Aparte del interés científico, poseer un método fiable para medir la distancia a las nebulosas planetarias podría tener implicaciones considerables para el cálculo de la escala de distancias intergalácticas y, por tanto, para la determinación de las constantes cosmológicas. Los cosmólogos calculan la distancia a las galaxias utilizando como referencias de las mediciones algunos cuerpos celestes especiales (llamados indicadores de distancia), identificados en las mismas galaxias, por ejemplo las cefeidas. Por tanto, las nebulosas planetarias podrían constituir unos indicadores de distancia muy útiles, ya que son bastante luminosas y fácilmente identificables.

A primera vista, NGC 4361 podría interpretarse como una galaxia espiral corriente, pero, en realidad, se trata de una nebulosa planetaria, y la mancha luminosa del centro no es el núcleo galáctico, sino la enana blanca asociada a la propia nebulosa.



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Las nebulosas planetarias no brillan con luz propia, sino que deben su luminosidad a la enana blanca que hay en su centro, ya que, a temperaturas del orden de varias decenas de miles de grados, estas estrellas son fuente de una intensa radiación ultravioleta. Al propagarse por el espacio, la radiación producida en la superficie de la enana blanca es interceptada por la nebulosa que la rodea: primero es absorbida y luego reemitida en las longitudes de onda características de los átomos que componen la nebulosa. Este proceso confiere a las nebulosas planetarias sus colores característicos. Naturalmente, su luminosidad depende de la densidad de materia absorbente. Por este motivo, las nebulosas jóvenes, todavía en plena fase de expansión, son más luminosas que las más viejas y dispersas.

En especial, los análisis espectroscópicos han demostrado que el principal factor de emisión luminosa de las nebulosas planetarias son los átomos ionizados por la radiación ultravioleta procedente de la enana blanca. Cuando los iones colisionan o se recombinan con electrones libres, emiten rayas espectrales características, principalmente en la región visible y en el ultravioleta próximo. Así pues, es posible determinar la composición química de las nebulosas, que están compuestas sobre todo por hidrógeno (70%), helio (28%) y carbono, nitrógeno y oxígeno (2%). Otros elementos, como el neón, el azufre, el sodio y el argón sólo están presentes en porcentajes mínimos. En su mayor parte, estos últimos elementos no proceden del medio interestelar, sino que han sido sintetizados en el núcleo de la estrella progenitora.

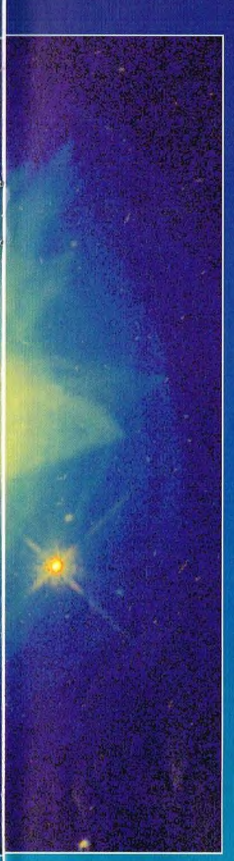
El gas nebular deriva en gran parte de las capas externas de la gigante roja, lo que significa que en su interior debe de haberse producido necesariamente entre los diversos estratos una mezcla de naturaleza convectiva, lo que hace que llegue a la superficie material sintetizado en las regiones del núcleo. Por tanto, el estudio de la composición química de las nebulosas permite reconstruir con mayor exactitud y conocimiento de causa las condiciones físicas que hay en el interior de la estrella progenitora.

La intensidad de las rayas espectrales proporciona al astrofísico importantes informaciones sobre la densidad de la nebulosa y su temperatura. Los



A la izquierda, imagen de la nebulosa planetaria Abell 35, situada en la constelación de la Hidra. Se trata de un objeto de gran extensión (unos 700″, aproximadamente un tercio del diámetro de la Luna llena) pero bastante débil, ya que su magnitud es 12, mientras que la pequeña estrella central es de magnitud 9.

Arriba, la nebulosa planetaria NGC 7027. Esta imagen permite reconstruir las diversas fases de la evolución de la estrella progenitora. El halo más externo de la nebulosa –y más enrarecido que las regiones centrales– indica que la pérdida de masa ocurrió antes y de manera más tranquila, para hacerse luego cada vez más rápida. También en este caso se ve la enana blanca en el centro de la nebulosa.



OBJETOS FASCINANTES

Las nebulosas planetarias se cuentan entre los objetos más bellos del universo. Su aspecto circular hizo pensar a los primeros observadores que se trataba de planetas en formación: hoy, en cambio, se sabe que son un indicador de la agonía de las estrellas de pequeña masa, las cuales, una vez perdida su estabilidad, emiten una «cáscara» de gases en expansión que forma la nebulosa planetaria. Por tanto, no se trata de objetos en formación, sino de los restos de algo que agoniza.

valores típicos medidos están alrededor de los 10.000 °C (a título comparativo, la superficie del Sol está a unos 6.000 °C), mientras que la densidad es del orden de varios átomos por centímetro cúbico en las regiones centrales más dispersas, para llegar a cerca de 100.000 átomos por centímetro cúbico en las regiones más externas. La mayor densidad que se registra en los límites de la nebulosa se explica por la compresión del material nebular en expansión, debida a la interacción con el medio interestelar circundante.

LA OBSERVACIÓN DE LAS NEBULOSAS PLANETARIAS

En las proximidades del sistema solar se han identificado hasta ahora cerca de un millar de nebulosas planetarias, pero debe de haber muchas más no observadas hasta el momento. La formación de este tipo de cuerpos debería constituir un fenómeno bastante común en nuestra Galaxia, dado que las estrellas progenitoras se cuentan entre las más abundantes. Según algunas estimaciones basadas en los ritmos de formación estelar, el número total de nebulosas planetarias en nuestra Galaxia debería ser al menos de 10.000. A ellas se añadirían las que se han observado en galaxias externas: cerca de 60 pueden contemplarse en la Pequeña Nube de Magallanes, 130 en la Gran Nube de Magallanes y varios centenares en la galaxia de Andrómeda. Sin embargo, la mayor parte de las nebulosas planetarias escapan a nuestra observación. Esto se debe, sobre todo, al hecho de que, aun siendo objetos bastante comunes, su vida se consume de manera relativamente rápida. Una nebulosa planetaria es observable sólo entre 25.000 y 50.000 años (un intervalo de tiempo cien mil veces más breve que la vida del Sol) antes de que el gas que la compone se disperse completamente en el espacio. Por este motivo, las probabilidades de observar una nebulosa planetaria en este breve lapso de tiempo cósmico son más bien reducidas. Además, desde un punto de vista práctico, la observación de las nebulosas más viejas se complica a causa de que su brillo superficial (es decir, el flujo luminoso emitido por unidad de superficie) es bajo y se confunden con el fondo del cielo.

Cuando la nebulosa se expande, su temperatura tiende inevitablemente a disminuir y, por tanto, se enfría. Por debajo de los 1.000 °C, la energía cinética relativa de las partículas nebulares es suficientemente baja para permitir la formación de gránulos de polvo (cada uno con unas dimensiones de varios micrómetros) constituidos por átomos de carbono, oxígeno, silicio y otros elementos pesados. El polvo así formado absorbe la radiación ultravioleta emitida por la enana blanca del centro de la nebulosa e impide su observación. La radiación absorbida es emitida luego en forma de



Una de las nebulosas planetarias más conocidas es M27, en la constelación de la Zorra. Gracias a su gran brillo superficial, es fácilmente visible incluso con pequeños telescopios de aficionado.

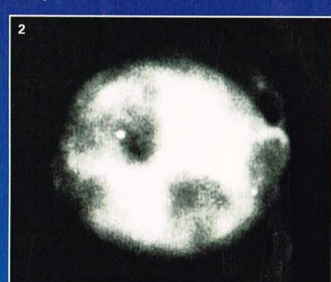
radiación infrarroja de mayor longitud de onda que la originaria y, por tanto, más fría. Llegada a este punto, la nebulosa deja de ser visible para los telescopios terrestres, pero puede observarse desde el espacio utilizando detectores infrarrojos montados en satélites como el ISO (InfraRed Space Observatory).



MORFOLOGÍA

Las dimensiones de las nebulosas planetarias varían principalmente según su edad. Las más pequeñas tienen una masa equivalente sólo a una centésima de la masa del Sol y un radio de entre 5 y 100 años luz, mientras que las mayores alcanzan una masa solar y unas dimensiones de varios años luz.

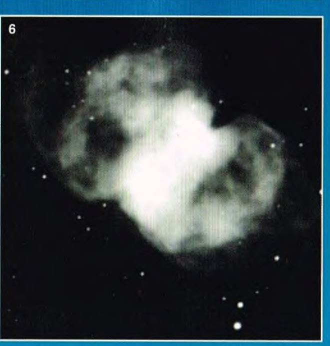




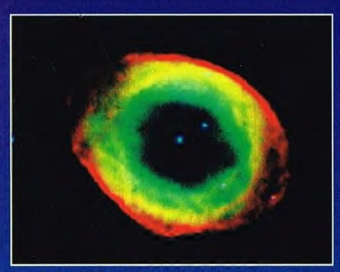




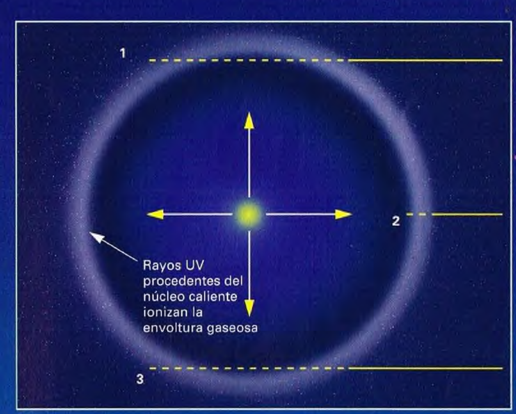




Las formas y los colores de las nebulosas planetarias más espectaculares están representados en esta serie de imágenes.
1) NGC 7293, en la constelación de Acuario. Se trata de la famosa Helix Nebula *(Nebulosa Hélice), la nebulosa planetaria más próxima a nosotros. Su magnitud aparente es de 7,3 y sus dimensiones, enormes: 41', mayores que las de la Luna llena.*
2) M97 (NGC 3587), en la constelación de la Osa Mayor. Se llama también nebulosa Búho por su morfología, que recuerda la cabeza de este animal. De magnitud 11, tiene un diámetro de unos 200".
3) NGC 2371. Tiene un aspecto bipolar, como muchas nebulosas planetarias. Las dos «caperuzas» de materia visibles a los lados se deben probablemente a chorros de materia expulsados por la estrella en tiempos remotos.
4) NGC 2346, en la constelación del Unicornio. Como la anterior, pertenece a las nebulosas planetarias «bipolares». Los objetos con estas características probablemente fueron generados por estrellas más jóvenes que las que han dado lugar a las nebulosas circulares.
5) Shapley 1, en la constelación austral de la Escuadra. De magnitud 13,6, tiene un diámetro de unos 80". La pequeña estrella central es de magnitud 14.
6) NGC 650-1, en la constelación de Perseo. Es de magnitud 11 y de un tamaño aproximado de 65". Su aspecto bipolar es particularmente evidente, y encierra en su interior una pequeña estrella central de magnitud 14.



La nebulosa M57, en la Lira, conocida también como Nebulosa del Anillo, tiene una forma muy regular que indica que la pérdida de masa de la estrella progenitora tuvo lugar de manera muy gradual. En realidad, la nebulosa es una «cáscara» esférica y, la forma en anillo, el resultado de una ilusión de perspectiva debida a que el hemisferio que ve el observador es semitransparente.



Imaginemos que observamos una nebulosa en tres direcciones distintas (indicadas con 1, 2 y 3). Siguiendo las direcciones 1 y 3, la cantidad de gas nebular a lo largo de la línea de visión aparece mayor que a lo largo de la dirección 2 y, por tanto, también la luminosidad es mayor.

En cambio, sus características morfológicas dependen sensiblemente de cómo se produce la pérdida de masa en la estrella progenitora, así como del ambiente en el que se forman y desarrollan. En una primera aproximación, como están formadas por gases expulsados por un cuerpo esférico (una estrella), podría esperarse que la forma más corriente fuera la de una bola más o menos regular. En realidad, sólo en un caso de diez, las nebulosas planetarias presentan una forma esférica. Muchas tienen un eje de simetría muy marcado, mientras que otras son de forma absolutamente irregular.

Por tanto, con relación a su morfología, las nebulosas planetarias se dividen principalmente en esféricas, elípticas e irregulares. Además, algunas de ellas se caracterizan por la presencia de dos máximos de emisión localizados a lo largo de los dos polos de la estructura principal. El origen de estas diferencias morfológicas aún no está del todo claro.

Por ejemplo, según algunos modelos, la forma de las elípticas sería el resultado de una pérdida de materia no homogénea de la estrella progenitora, que tendría lugar sobre todo en las regiones ecuatoriales. Una explicación alternativa es que tal estrella no estaría aislada, sino que formaría parte de un sistema binario. En tal caso, el gas emitido por la estrella progenitora en la fase de gigante roja no se expandiría directamente hacia el espacio, sino que sería atraído gravitatoriamente por la compañera y formaría un disco alrededor de su plano ecuatorial. Alimentado por la gigante roja, el disco aumentaría cada vez más de dimensiones y, por tanto, daría lugar a la estructura base de la futura nebulosa planetaria. En algunos casos, este proceso provocaría la emisión de chorros de materia perpendiculares al plano del disco (como ocurre en los sistemas estelares en formación), los cuales, probablemente, son los que dan origen a los dos máximos de emisión observados en las regiones polares de muchas nebulosas planetarias. En cambio, en el caso de las nebulosas irregulares, se piensa que la pérdida de masa de la progenitora no se produce de manera continua, sino en fases alternas de duración e intensidad diferentes.

Seguramente, además de estos factores, la forma de una nebulosa planetaria puede estar influida de manera más o menos significativa por la interacción con el medio interestelar. En tal caso, el movimiento de expansión de la nebulosa asume un papel marginal teniendo en cuenta las bajas velocidades (20-30 km/s) a las que se difunde en el medio interestelar. Por el contrario, durante su movimiento orbital alrededor del centro galáctico, cuando el medio interestelar alcanza una velocidad de 40 a 150 km/s, tendría lugar una interacción más importante. De este modo, la parte de nebulosa que se halla a lo largo de la dirección del movimiento sería comprimida por el gas interestelar que va encontrando en su camino, con lo que su forma quedaría alterada. A su vez, la compresión provocaría un aumento de la densidad local y, por tanto, un aumento del brillo en la parte frontal de la nebulosa con respecto a las regiones circundantes. Sólo en unas diez nebulosas se han encontrado señales de interacción con el medio interestelar.

UN ELEMENTO INEXISTENTE: EL NEBULIO

Las primeras observaciones espectroscópicas de las nebulosas planetarias originaron un curioso equívoco. Los espectros mostraban rayas de emisión especialmente intensas. Pero algunas de ellas no correspondían a ningún elemento conocido en la Tierra. Esto indujo al astrónomo inglés William Huggins a avanzar en 1866 la hipótesis de que las había originado un elemento desconocido hasta entonces, que bautizó con un nombre obviamente adecuado: nebulio, elemento que, en realidad, no existía.
El misterio del nebulio fue aclarado unos 50 años después por Ira Bowen, del Californian Institute of Technology. Bowen demostró que las rayas observadas por Huggins eran emitidas por átomos de oxígeno ionizados dos veces. Estos átomos son extremadamente inestables en condiciones terrestres, pero no así en el vacío del espacio interestelar.

SERPIENTE

La Serpiente es la única constelación que se ha dividido en dos tramos: la cabeza y la cola.



Casi ciñendo la contigua constelación de Ofiuco o Serpentario, la constelación de la Serpiente se nos muestra compuesta por dos partes separadas: la cabeza, más a occidente, y la cola, que sigue en el movimiento diurno a la parte anterior. Se trata de una constelación antigua, y las estrellas que la componen son todas de magnitud superior a la segunda.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

Una vez identificado Ofiuco, la Serpiente se encuentra pronto: la cabeza está a la derecha si se observa el cielo teniendo el norte a la espalda, mientras que la cola está a la izquierda. Estas dos partes parecen dos apéndices que parten de la constelación mayor: la del hombre que agarra la Serpiente. La cabeza del reptil celeste es identificable en un pequeño grupo de estrellas situadas entre Hércules y Boyero.

ESTRELLAS NOTABLES

Alfa (magnitud 2,7) es la más luminosa y está en la cabeza. Se trata de una estrella conocida también con el nombre de Unukalhai, que significa «el cuello de la serpiente». Es una gigante de color rojo anaranjado.

También Beta está en la parte anterior de la constelación. A diferencia de Alfa, es caliente, por lo que emite una luz blanca; brilla con magnitud 3,7. Se trata también de una estrella doble, de la que un modesto telescopio permite separar una compañera situada a poco más de 30" de la principal. Sin embargo, la observación de este par de estrellas es bastante difícil debido a la notable diferencia de magnitud entre sus dos componentes, ya que la magnitud de la secundaria es 9,9.



La nebulosa Águila en una fotografía del telescopio espacial Hubble, que ha descubierto violentos procesos de evaporación debidos a las radiaciones emitidas por las estrellas calientes del cúmulo asociado a la nebulosa.

Por diversos motivos, Delta (magnitud 3,8) recuerda a Beta: se trata de una estrella blanquecina con una compañera. Sin embargo, las dos componentes están muy próximas, sólo a 4", y sus luminosidades no difieren mucho (magnitudes 4,2 y 5,2). También en este caso es suficiente un pequeño telescopio para resolverlas.

5 Serpentis (magnitud 5,1) es otro astro que tiene en sus proximidades una compañera nada fácil de percibir por su baja luminosidad (magnitud 10,1), a pesar de que está situada a algo más de 11".

En la cola de la Serpiente, es particularmente interesante Theta (magnitud 4,1), una estrella doble compuesta por dos astros blancos (magnitud 4,5 y 5,4), al alcance de pequeños instrumentos, ya que están separadas por más de 22".



La Serpiente se enrolla en torno al cercano Ofiuco.

OTROS OBJETOS DE LA SERPIENTE

La cola de la Serpiente se encuentra en la Vía Láctea, pero su posición, cerca del ecuador galáctico, hace que en esta zona haya muchas nubes de polvo que enmascaran las estrellas situadas detrás de ellas. Sin embargo, esta constelación contiene algunos objetos notables.

Especialmente atractivo, sobre todo por las fotografías tomadas por el telescopio espacial, es M16, un cúmulo abierto que contiene un centenar de estrellas asociadas a una nube de hidrógeno conocida como nebulosa Águila. En ella pueden descubrirse formaciones llamadas «trompas de elefante» por su forma peculiar. Están formadas por polvo más frío.

M5 es un cúmulo globular de magnitud 6, que puede verse en la cabeza de la Serpiente, cerca de 5 Serpentis, en el límite con la constelación de Virgo.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

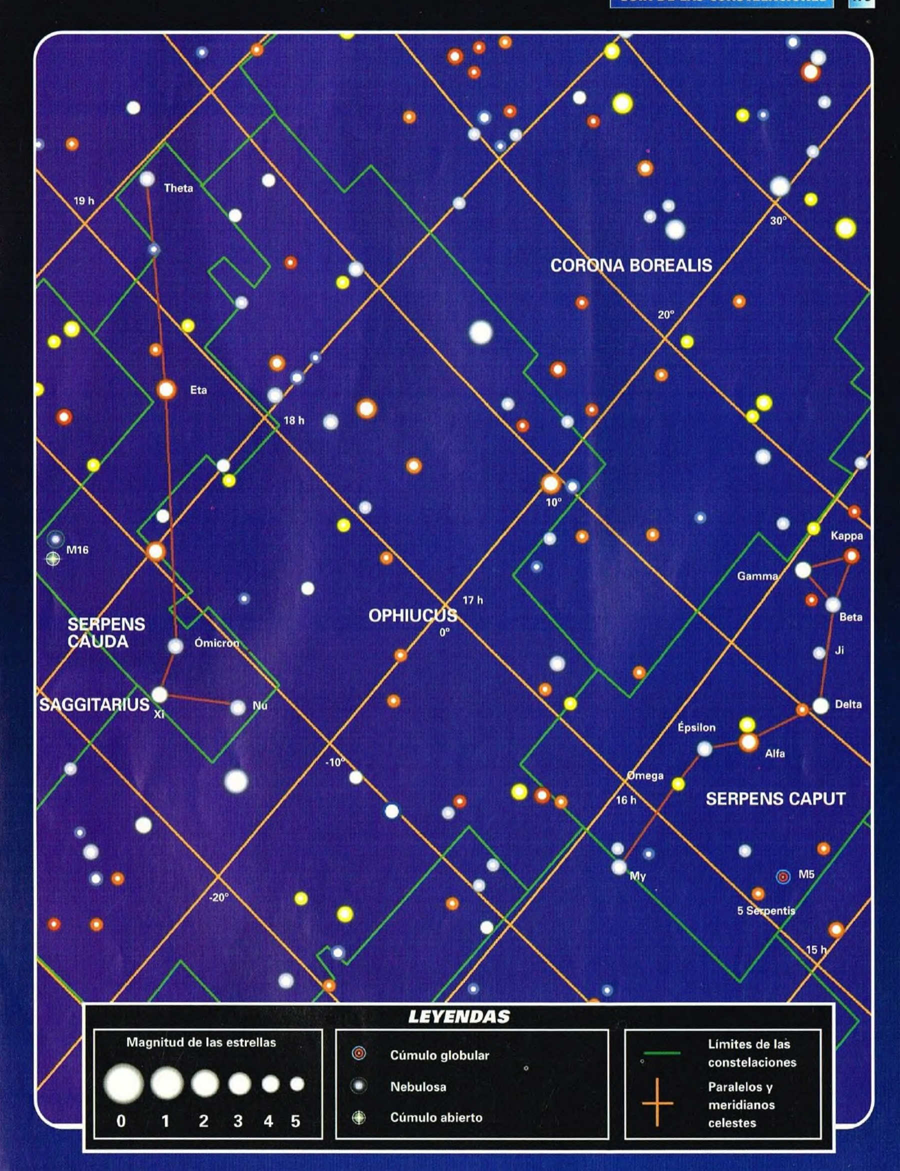
SERPIENTE

La relación entre la constelación de la Serpiente y la de Ofiuco se remonta a épocas antiguas. La identificación de Ofiuco con Esculapio conduce inmediatamente a interpretar la Serpiente como el símbolo mitológico sanador. Parece que fue una serpiente la que mostró a Esculapio el uso de algunas hierbas medicinales. Esculapio había asistido a la muerte de un amigo cuando vio una serpiente cerca del cadáver. Inmediatamente la mató, pero llegó un segundo reptil y puso sobre la herida del primero unas hierbas, recogidas allí cerca, que lo resucitaron.

DÓNDE BUSCARLA

SERPIENTE

Como está junto al ecuador celeste, es visible desde cualquier punto de la Tierra. La cabeza de la Serpiente abarca una región del cielo comprendida entre las 15 horas 10 minutos y las 16 horas 20 minutos de ascensión recta, y entre –3 y 25° de declinación, aproximadamente. La cola se extiende por una zona comprendida entre las 17 horas 15 minutos y las 18 horas 55 minutos de ascensión recta, y entre –16 y 6° de declinación.



Theta
19 h
CORONA BOREALIS
30°
20°
Eta
18 h
10°
M16
Kappa
Gamma
17 h
Beta
SERPENS CAUDA
OPHIUCUS
0°
Ómicron
Ji
SAGGITARIUS
Xi
Nu
Delta
Épsilon
Alfa
-10°
Omega
16 h
SERPENS CAPUT
My
M5
-20°
5 Serpentis
15 h
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulo globular
Nebulosa
Cúmulo abierto
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

NEAR EARTH ASTEROID RENDEZVOUS

En 1996 se lanzó al espacio una pequeña sonda con la misión de aproximarse a uno de los más misteriosos objetos del sistema solar: el asteroide 433 Eros. Descubrir los secretos de estos pequeños objetos que vagan por el espacio equivale a arrojar luz sobre el origen de nuestro sistema solar.



La sonda NEAR (Near Earth Asteroid Rendezvous) fue enviada al espacio en febrero de 1996 con un cohete Delta II, desde la base de lanzamiento de Cabo Cañaveral, en Florida.

La NEAR tiene la misión de pasar en 1999 por las cercanías del asteroide 433 Eros, que se convertirá en el objeto más pequeño del sistema solar orbitado por una sonda construida por el hombre.

Sobrevolar este objeto será una operación que durará varios meses. Permitirá el primer estudio en las proximidades de un asteroide para descubrir su composición química y sus propiedades físicas.

Este acontecimiento es importante porque los asteroides, lo mismo que los cometas y los meteoritos, conservan polvo y materiales que se remontan a los tiempos de la formación de nuestro sistema solar y, por tanto, la misión permitirá resolver muchos de los enigmas que envuelven la formación del Sol y sus planetas.

La NEAR ha sido la primera sonda lanzada en el marco del Discovery Program de la NASA, que se propone realizar pequeñas misiones planetarias rápidas, de bajo coste y orientadas hacia objetivos muy precisos.

LA SONDA Y LOS INSTRUMENTOS DE A BORDO

La NEAR es una sonda interplanetaria pensada y construida para tener una vida de unos cuatro años y operar a una distancia del Sol de 330 millones de kilómetros.

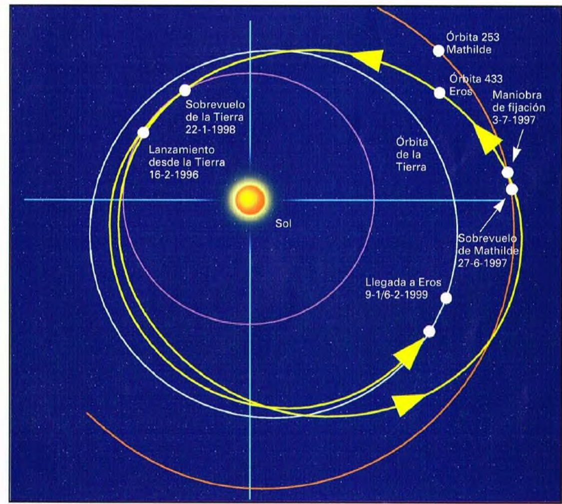
Teniendo en cuenta la unicidad de la misión, todos los instrumentos han sido duplicados, excepto la antena de alta ganancia y el procesador para la telemetría.

Los instrumentos de a bordo incluyen:

• Un espectrómetro de rayos X y rayos gamma. Servirá para realizar un mapa de la abundancia de muchos elementos clave para comprender la composición de la superficie de los asteroides del tipo de Eros.



A la derecha, momento del lanzamiento del cohete Delta II con la sonda NEAR. Son las 8.43 del 16 de febrero de 1996.



Esquema del recorrido previsto para la sonda NEAR. Su viaje la llevará cerca de los asteroides Eros y Mathilde.

Magnetómetro

Panel solar

Sensor rayos gamma

Sensor rayos X

Cámara multiespectral

Espectrógrafo infrarrojo

Medidor de distancia por láser

• Un espectrógrafo para los análisis de la superficie en el infrarrojo próximo, que servirá para recoger la luz del Sol reflejada por Eros a una longitud de onda comprendida entre 0,8 y 2,7 micrómetros. De este modo será posible conocer la distribución y la abundancia de los piroxenos y de las olivinas presentes en la superficie del asteroide. Informaciones de este tipo serán las más importantes para hallar el nexo entre asteroides y meteoritos.

• Un láser para la medida de las distancias entre la cápsula espacial y el asteroide. Midiendo el retraso de la reflexión de un haz de luz láser, será posible obtener con gran precisión el valor de este parámetro. Además, el láser ayudará a los planetólogos a definir la forma de la superficie del asteroide.

• Un magnetómetro, que permitirá detectar la presencia de un eventual campo magnético vinculado a Eros. Se ha detectado ya un débil campo magnético en torno a Gaspra e Ida, dos asteroides estudiados por la sonda Galileo, pero todavía no se han sacado conclusiones definitivas.

• Un instrumento para experimentos científicos de radio, que permitirá definir el campo gravitatorio del asteroide.

• Una cámara para recoger imágenes detalladas de la superficie de Eros y poder observar todo lo que tenga un tamaño superior al metro de diámetro. Naturalmente, las imágenes servirán para levantar un mapa exacto del asteroide, aunque también se utilizarán para la navegación óptica hacia Eros y para buscar eventuales satélites que giren en torno a él.



Imagen pictórica de la sonda NEAR rumbo al asteroide Eros. Su encuentro debería tener lugar entre enero y febrero de 1999.

Esquema de la sonda NEAR. Los instrumentos que lleva a bordo están diseñados para proporcionar información sobre los asteroides en general, sobre sus relaciones con meteoritos y cometas y sobre las condiciones del sistema solar primordial.

La cámara de a bordo se ha realizado a partir de máquinas fotográficas de las que están dotados los departamentos militares estadounidenses para tomas de la superficie terrestre.

EL LANZAMIENTO Y EL VIAJE DE LA NEAR HACIA 433 EROS

Lanzada el 16 de febrero de 1996, y después de unos 13 minutos de «aparcamiento» en órbita terrestre, la tercera fase del cohete Delta se encendió durante cuatro minutos para poner la sonda en la trayectoria de aproximación al asteroide. Los paneles solares se abrieron a los 22 minutos del lanzamiento y habrán de proveer la energía que se necesitará a bordo durante toda la misión. Así, la NEAR será la primera nave espacial que operará utilizando solamente paneles solares más allá de la órbita de Marte.



Imagen artística de la sonda NEAR mientras pasa junto a Eros, un asteroide de la clase de los Near Earth, que a veces interceptan la órbita de la Tierra alrededor del Sol.

La sonda efectuará una Delta VEGA, es decir, una trayectoria que le permitirá obtener más energía para su viaje sin el uso de carburante. Delta V significa variación de velocidad, mientras que EGA son las siglas de Earth Gravity Assist. En otras palabras, la sonda empleará la fuerza de gravedad de la Tierra para adquirir energía y aumentar su propia velocidad de crucero. Aunque 433 Eros es el objetivo final, la sonda cumplirá numerosas citas durante su viaje.

El 27 de junio de 1997, a una distancia de 330 millones de kilómetros de la Tierra, la sonda NEAR pudo pasar, con gran éxito, a tan sólo 1.200 km del asteroide 253 Mathilde representando esta aproximación la primera observación de un asteroide carbonáceo de tipo C. Una semana después, el 3 de julio de 1997, una maniobra realizada gracias a los motores de a bordo, con hidracina y tetróxido de nitrógeno, pudo proporcionar a la sonda una velocidad de 1.004 km/h, que le permitió volver hacia la Tierra para la crítica maniobra de asistencia gravitacional.

LA CITA CON EROS

Eros, de unos 40 km de longitud, es seguramente el asteroide más observado y estudiado de los que pasan cerca de la Tierra. Definidos como Near Earth, estos cuerpos orbitan dentro de los 195 millones de kilómetros de distancia al Sol, y a veces cruzan la órbita terrestre.

Actualmente se conocen unos 250 asteroides de este tipo, pero los científicos estiman que puede haber unos mil, con un diámetro de un kilómetro o más. 433 Eros fue descubierto en 1898 y de este tipo de asteroides es el segundo en tamaño.

Se trata de un asteroide de tipo S (silicatos), que son los que prevalecen en la franja interna del cinturón de asteroides. Recientemente pasó a unos 26 millones de kilómetros de la Tierra, pero por el momento no hay peligro de un posible impacto con nuestro planeta.

La NEAR llegará a las proximidades del asteroide en los primeros meses de 1999.

A partir del 9 de enero de aquel año, iniciará una serie de maniobras gracias a las cuales pasará de una velocidad de 949 m/s a otra de solamente 5 m/s.

La primera aproximación verdadera a Eros tendrá lugar el 6 de febrero de 1999, en el lado iluminado por el Sol, a unos 500 km de altura: utilizando sus pequeños motores, entrará en órbita elíptica a una distancia de entre 200 y 400 km. Gradualmente, la órbita irá haciéndose circular.

La órbita final se determinará más tarde, cuando se conozcan con precisión las características físicas de Eros.

LAS INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

La fase de investigaciones científicas empezará el 15 de marzo de 1999 y, en los diez meses siguientes, la órbita de la sonda deberá estabilizarse alrededor del asteroide, de un diámetro de unos 35 km.

Esto significa que la NEAR pasará a sólo 15 km de la superficie de Eros. Entonces se harán investigaciones con rayos gamma y rayos X. El ciclo de tomas durará alrededor de 120 días. Luego, el diámetro de la órbita se ampliará hasta 50 km.

El término de la misión se ha previsto para el 31 de diciembre de 1999. Para entonces, se habrá logrado un auténtico progreso en el conocimiento de las características geológicas, químicas y geofísicas de un asteroide del sistema solar.

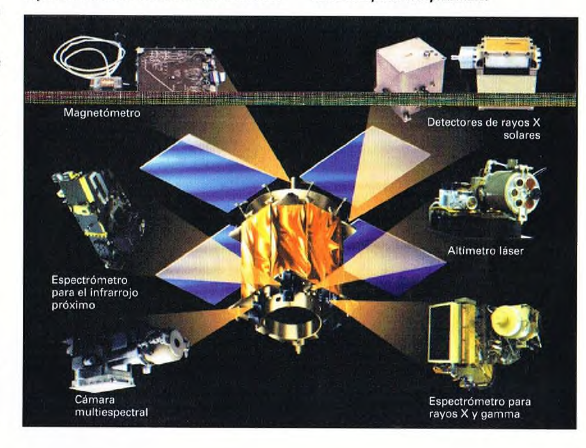
Imágenes de altísima resolución permitirán obtener detalles muy claros de los cráteres, los surcos y otros pormenores morfológicos.

Además, gracias a importantes investigaciones, podrá conocerse el espesor del regolito –el polvo que se forma en cuerpos sin atmósfera del sistema solar– que recubre Eros, así como la historia de los impactos que lo caracterizan.

En 1986, el NEAR Science Working Group, un grupo de científicos cuya tarea era estudiar una misión hacia Eros, dio a conocer las razones por las cuales era interesante este tipo de misiones:

- con excepción de la Luna, los asteroides del tipo de Eros son los objetos más próximos a la Tierra;
- en los asteroides, los cometas y los meteoritos han quedado registrados los procesos y las condiciones que se daban originariamente en el sistema solar, pero las relaciones entre estos objetos todavía no están claras;
- los asteroides del tipo de Eros guardan los secretos de los planetésimos que

Abajo, la carga científica de la sonda NEAR. El largo viaje de la sonda también es aprovechado por los científicos para recoger información sobre el espacio interplanetario.



condujeron a la formación de los planetas similares a la Tierra;
• los impactos de tales objetos han influido significativamente en la evolución de la atmósfera y la biosfera de la Tierra;
• estos objetos pueden ser unos lugares privilegiados para desarrollar técnicas destinadas a exploraciones humanas del espacio profundo.

EL ASTEROIDE 433 EROS

El objetivo de la misión NEAR es 433 Eros, el primero de los que se definen como Near Earth Asteroid (NEA), es decir, un grupo de asteroides que pasan cerca de nuestro planeta.

Las dimensiones de Eros (40 × 14 × 14 km) lo incluyen en el pequeño grupo de sólo tres asteroides conocidos que tienen un diámetro superior a 10 km.

Eros fue descubierto el 13 de agosto de 1898 por Gustav Witt, director del Observatorio Urania de Berlín, y también, de manera totalmente independiente, por Auguste Charlois, en Niza. Rompiendo con las tradiciones, a este asteroide se le dio un nombre masculino: Eros, dios del amor e hijo de Mercurio y Venus.

Eros gira alrededor del Sol en 1,76 años y está inclinado 10,8° respecto al plano de la eclíptica.

Gira también sobre sí mismo en 5,27 horas. Según las investigaciones hechas desde la Tierra, parece que Eros tiene caras con dos composiciones distintas: la primera con una superficie rica en piroxenos y la segunda con una superficie rica en olivinas.

No hay evidencia de atmósfera o de agua. La temperatura de la cara expuesta al vacío es de –150 °C, mientras que la expuesta al Sol es de +100 °C.

En este siglo, el paso de Eros más próximo a la Tierra tuvo lugar el 23 de enero de 1975, a sólo 22 millones de kilómetros de distancia.

EL ASTEROIDE 253 MATHILDE

El asteroide 253 Mathilde fue descubierto el 12 de noviembre de 1885 por Johann Palisa, en Viena. Se le dio el nombre de Mathilde en honor de la esposa del astrónomo Moritz Loewy, por entonces vicedirector del Observatorio de París.

Mathilde posee un inusual período de rotación, que corresponde a 418 horas, es decir, unos 17 días. Orbita alrededor del Sol

El estudio cercano de los asteroides que efectuará la sonda NEAR debería facilitar a los astrónomos informaciones útiles para la reconstrucción de las fases de formación del sistema solar.

La aproximación de la sonda NEAR a los asteroides Eros y Mathilde brindará a los científicos la primera ocasión de estudiar con detalle estos cuerpos, muy numerosos en el sistema solar.

en 4,3 años, y su órbita está inclinada 6,7° respecto a la eclíptica.

Los datos obtenidos con el satélite IAS han permitido establecer que el diámetro del asteroide es de unos 61 kilómetros.

La aproximación de la NEAR a Mathilde permitirá a los científicos estudiar por primera vez, desde una distancia bastante pequeña, un asteroide de la clase C.

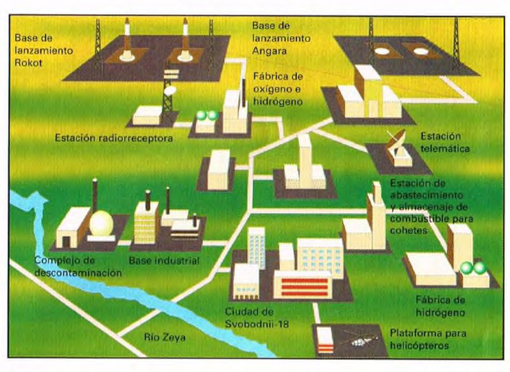


BASES ESPACIALES SOVIÉTICAS

En la antigua Unión Soviética, pocas cosas permanecieron tan secretas como las bases espaciales. Su uso hubiera permitido contraatacar a Estados Unidos o a otros países hostiles en caso de una guerra nuclear y, por tanto, nada de su existencia debía filtrarse. Actualmente han cambiado mucho las cosas, y de las mismas bases salen cosmonautas no sólo rusos, sino también de muchos países occidentales.



El 14 de marzo de 1997, en el lejano oriente de Rusia, a unos 9.000 km de Moscú, se inauguró el nuevo cosmódromo de Svobodnii lanzando un satélite militar secreto de la serie Zeya, a bordo de un cohete balístico modificado de la serie SS-25. El nuevo cosmódromo, a sólo 100 km de la frontera con China, fue creado por orden del presidente Borís Yeltsin para reducir la dependencia de Rusia de su principal base de lanzamiento de Baikonur, que actualmente se encuentra en el estado de Kazajstán, país al cual Rusia ha de pagar un alquiler de 115 millones de dólares anuales. Con el tiempo, Svobodnii debería convertirse en la principal base rusa de lanzamiento de misiles, sobre todo porque se halla en una posición geográfica óptima, ya que su latitud es casi la misma que la de Baikonur. Sin embargo, por el momento no se ha previsto el desplazamiento de los lanzamientos de cohetes con tripulación humana a bordo. Por otra parte, existen algunos problemas con la vecina República de Yakutia, que ha protestado porque algunas partes del cohete han caído en su territorio y considera insuficientes las medidas de seguridad.



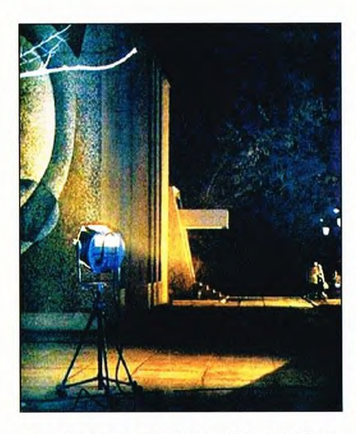
Arriba, esquema de las instalaciones del cosmódromo situado en la zona de Svobodnii, en la región de Amor (coordenadas: 51° N y 128° E).

BAIKONUR

Al norte del nudo ferroviario de Tiuratam, cerca del lago de Aral, se encuentra la base espacial soviética más famosa: Baikonur. En 1957 se lanzó desde allí el primer satélite artificial de la historia, el Sputnik, y en 1961 partió también de allí Yuri Gagarin, el primer cosmonauta. El cosmódromo se construyó en 1955, cuando las pruebas del ICBM R7, un lanzador intercontinental de Serguéi Korolev, requirieron una ubicación suficientemente alejada de la estadounidense, por entonces en Turquía. La desolada y pobre región de Tiuratam era perfecta para el objetivo perseguido. En pocos años, surgió prácticamente de la nada una inmensa rampa de lanzamiento construida con hormigón armado prefabricado. Entretanto, nacía una ciudad de la ciencia, que se llamó Leninsk. En 1975 tenía ya cerca de 50.000 habitantes, y fue el lugar en el que vivieron los primeros cosmonautas. Al cabo de unos años, la base se amplió para formar un sistema en forma de Y, con calles y líneas férreas, hasta alcanzar una extensión de 137 km. Los primeros lanzamientos de prueba se hicieron a finales de 1956. Las principales características de estas instalaciones las dieron a conocer los estadounidenses cuando un avión espía U-2 sobrevoló la zona en el verano de 1957. A finales de agosto del mismo año, la agencia de información Tass anunció que un misil balístico intercontinental multifase de larguísimo alcance había llegado a cotas

Plataforma para Proton LV
Plataforma para Rokot LV
Campo de aviación
Plataforma para Soyuz LV
Plataforma para Energia LV
Plataforma para Tsyklon LV
Aeropuerto
Planta LOX/LN$_2$
Plataforma para Zenit LV
Centro de control telemático
Río Sirdaria
Ciudad de Baikonur

A la izquierda, esquema de las instalaciones del cosmódromo de Baikonur, probablemente el más importante de la antigua Unión Soviética. Hoy se encuentra en el estado de Kazajstán, pero es utilizado por Rusia.



A la derecha, fases de trabajo en la base espacial de Baikonur. Cubre una superficie de casi 7.000 km², y desde ella se han efectuado más de mil lanzamientos en más de cuarenta años de actividad.

A la izquierda, vista nocturna de la base de Baikonur. Es la base espacial más antigua del mundo: desde ella se lanzó en 1957 el Sputnik, el primer satélite artificial de la historia. Yuri Gagarin, el primer hombre que realizó una misión en el espacio, también partió del cosmódromo de Baikonur.

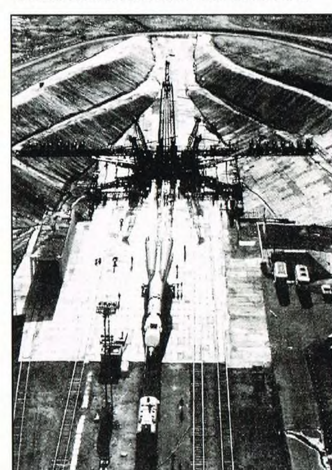


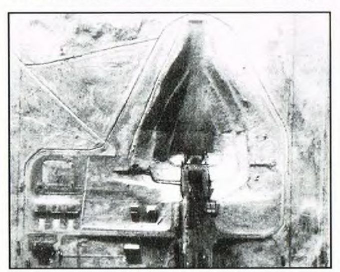
nunca alcanzadas y había dado en el blanco prefijado. Era el 21 de agosto de 1957. Todo hacía presagiar que el primer lanzamiento de un satélite orbital estaba muy próximo. En efecto, el 4 de octubre del mismo año se lanzó el Sputnik.

La base de lanzamiento (una amplia plataforma de acero y hormigón armado con un gran «pozo», necesario para desviar los gases de descarga) está conectada por ferrocarril a un edificio de dos cuerpos en el que se preparan los lanzadores. Pero esta actividad sólo es una parte del proceso de prelanzamiento.

El satélite, o la cápsula, se somete primero a controles exhaustivos en el edificio para su integración y la comprobación de los vehículos espaciales (MIK-KO). Luego es transportado en un vehículo especial a la planta de abastecimiento, donde se llenan los depósitos con los combustibles no criogénicos y los gases de presurización. Finalmente, vuelve al MIK-KO. Allí se acopla al cohete lanzador para los últimos controles en un vehículo ferroviario especial, que asume la doble función de transporte y de alzamiento del misil desde la posición horizontal hasta la vertical. Cuando todo está listo, las grandes puertas del hangar se abren y una locomotora diesel traslada el complejo hasta la rampa. Allí, estabilizadores hidráulicos anclan el vehículo ferroviario de transporte a los cimientos de la plataforma de lanzamiento. Entonces el cohete puede ser alzado mediante una serie de martinetes hidráulicos del transportador. Una plataforma giratoria puede orientarlo en acimut, según las necesidades de la misión. Brazos de estabilización articulados, que se abren «en corola» en el momento del lanzamiento, sostienen el cohete en la plataforma, y dos torres de servicio permiten al personal de lanzamiento completar los controles y el abastecimiento de combustible. Las plantas de aprovisionamiento están situadas en búnkers subterráneos que distan varios centenares de metros de la plataforma de lanzamiento. Una red enterrada de tubos y cables conecta las dos plantas y, ascendiendo por las torres de servicio, llega hasta el cohete. Cerca de la rampa hay una casamata baja, dotada de periscopios, que alberga el centro de control. Su equipamiento ha mejorado mucho con respecto a los primeros tiempos y, en la actualidad, prácticamente todo está automatizado. Sobre el techo del búnker,

En Baikonur, los lanzadores A-2 se transportaban hasta la rampa, donde eran alzados verticalmente para su lanzamiento. En la fotografía de la derecha se ven los preparativos para el envío al espacio del Soyuz 18.





A la izquierda, la zona de lanzamiento de los misiles IBCBLM, de combustible líquido, en el cosmódromo de Baikonur, fotografiada por un avión espía estadounidense en 1959. Desde esta rampa se lanzaron el Sputnik 1 y la Vostok 1. Ahora que ha cambiado la situación política, las bases espaciales de la antigua Unión Soviética admiten a científicos extranjeros.

una serie de pequeños pilares, parecidos a obstáculos antitanques, sirve para destruir completamente aquellos cohetes que, por un mal funcionamiento, pudieran llegar a golpear el techo.

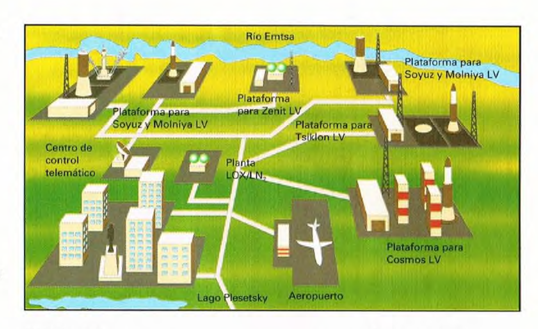
En diversas zonas del cosmódromo hay rampas y silos para una serie de misiles balísticos, cuyas pruebas tienen como objetivo zonas del noreste de la antigua Unión Soviética, en la península de Kamchatka y en el océano Pacífico.

En el extremo oriental del cosmódromo hay una importante zona industrial de soporte, con dos rampas para los grandes lanzadores Proton D-1-e (SL-12), utilizados en los lanzamientos de las sondas de la «nueva generación» Luna, Zond, Mars y Venera, y para los Proton D-I (SL-13), que han puesto en órbita las estaciones Salyut y partes de la MIR.

Lo mismo que el R.7 de Korolev, el lanzador es transportado desde el gran edificio de integración hasta la rampa, con la carga útil ya montada y dispuesto para el lanzamiento. Pero la plataforma presenta algunas diferencias: el pozo que recoge y desvía los gases de descarga se bifurca de manera similar a la del Saturn I, aunque las llamas parecen salir del suelo con una inclinación de unos 30°. A mediados de los años sesenta, se construyeron en Baikonur dos grandes complejos destinados al lanzador Tipo G-1-e SX-L Super-Booster. Una de las dos rampas de lanzamiento tuvo que ser reconstruida después del desastre de junio de 1969, cuando el prototipo del cohete se incendió y explosionó en la misma rampa durante una prueba de abastecimiento.

VOLGOGRADO

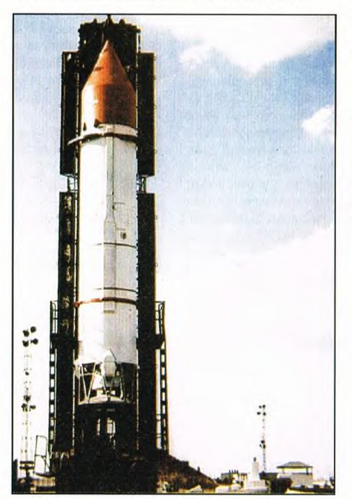
A medio camino entre la base de Tiuratam y Moscú se encuentra la primera estación espacial construida por los soviéticos. En forma de L, la base es el resultado de la ampliación del polígono utilizado por los técnicos soviéticos para efectuar lanzamientos de prueba con unas veinte V-2 capturadas a los alemanes durante la segunda guerra mundial. Serguéi Korolev y su equipo de ingenieros fueron extremadamente hábiles en captar la tecnología de aquellos cohetes y en mejorar sus características en muy poco tiempo, y crearon una nueva familia de V-2. Muchos de estos misiles cayeron en la zona desértica situada al sureste de la rampa de lanzamiento, pero sus trayectorias eran registradas en estaciones estadounidenses situadas en Turquía e Irán. El interés de los soviéticos por el espacio aumentaba con el tiempo, y en el período comprendido entre 1949 y 1952 se lanzaron los primeros cohetes a la alta atmósfera para hacer experimentos de geofísica o pruebas de supervivencia con diversos animales. La base se convirtió luego en rampa de lanzamiento, sobre todo para la puesta en órbita de satélites científicos de la serie Cosmos e Intercosmos, y para algunos satélites militares. Como cohetes se utilizaban los grandes Vertikal. Los lanzamientos se hacen en dirección noreste, y los planos orbitales en los que se colocan los satélites tienen normalmente una inclinación de 48 o 49 grados respecto al ecuador. Esta base no está servida por la extensa red ferroviaria de Baikonur, por lo que los cohetes y las sondas se llevan a las rampas de lanzamiento con vehículos de ruedas.



Esquema de las instalaciones del cosmódromo de Plesetsk, inaugurado en 1957. Esta base es especialmente importante desde el punto de vista militar, ya que desde ella se ha efectuado casi el 60% del total nacional de los lanzamientos de este tipo.

PLESETSK

Conocida como el Cosmódromo Septentrional, la base espacial de Plesetsk se halla a 170 km al sur de Arcángel, el puerto del mar Blanco, cerca de la ciudad de Plesetsk. Seguramente es la base espacial más secreta, o al menos lo fue durante todo el período de la guerra fría. Contiene un gran número de rampas y silos para misiles balísticos y se utiliza para lanzar satélites a órbitas muy inclinadas con respecto al ecuador, incluso a las polares. La existencia de este cosmódromo no fue conocida hasta 1966, a pesar de que el Pentágono tuvo noticia de ella cuando un grupo de observadores británicos de la Kettering Grammar School calculó la línea de partida del satélite Cosmos 112. Desde esta base se lanzaron muchos satélites militares tanto de reconocimiento fotográfico como de escucha electrónica y de caza de otros satélites.



Segunda fase de un cohete B-1 durante su transporte a la base espacial de Volgogrado. El último despegue conocido de un cohete de este tipo se remonta a junio de 1975. En aquella ocasión, el cohete, que llevaba a bordo un satélite sueco, sufrió una avería en el sistema de guía y no pudo alcanzar la órbita.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

EL DESCUBRIMIENTO DE URANO Y NEPTUNO

ESTRELLAS Y GALAXIAS

ESTRELLAS DOBLES

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

CORONA BOREAL

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

LAS LEYES DE KEPLER

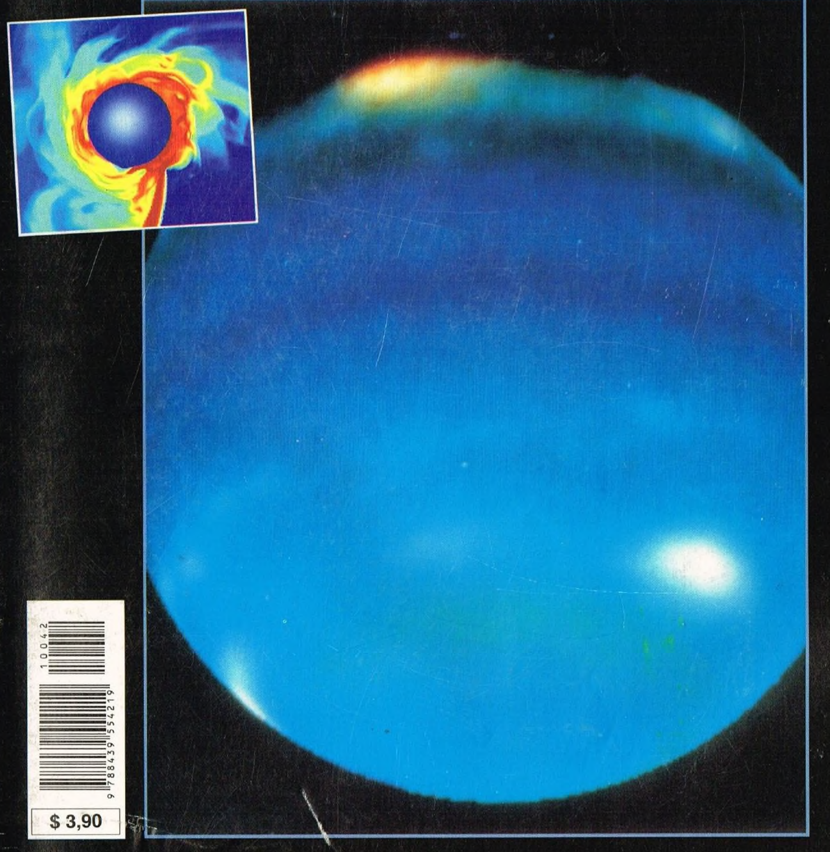
LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

LOS ROVER ESPACIALES

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

42



9 788439 554219 10042

$ 3,90

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS O LIBRERÍAS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de **EL UNIVERSO.** Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo quiosco o librería facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Edita: Editorial Planeta-DeAgostini, S.A., Barcelona

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

Impresión: Gráficas Estella, S.A., Estella, Navarra.
Impreso en España - Printed in Spain Enero 1999

©Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Fotografías: I.G.D.A.: 187ab.izq., 190ab.der., 194ab.izq., 200ar.der., ab.der.; I.G.D.A./NASA: 181, 198ab.der., 199ab.der.; Calvin J. Hamilton: 182 ar.der., 185ar.izq.; STS Digitized Sky Survery/Anglo-Australian Observatory: 186; NASA/JPL: 182ab.der., 183ar.der., ab.der., 184ar.izq., ab.izq., 185ab.izq., ab.der.; Wide Field Planetary Camera 2: 185ar.der., 192c.
Dibujos: Daniele Festa: 188ar.izq., 188-189, 190ar.izq., 191ab., 196ar.der., c.der., ab.izq., 197ar.izq., ab.der., 199ar.; Osservatorio Astronomico Brera: 192ar.der.; DI.DO.t: 193.

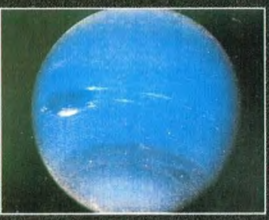
EL DESCUBRIMIENTO DE URANO Y NEPTUNO

El descubrimiento de estos dos planetas marcó una etapa importante en la historia de la astronomía. Por primera vez, los límites del sistema solar se extendían más allá de cuanto podía observarse a simple vista.



Urano y Neptuno son los primeros planetas que se descubrieron después de la Antigüedad. Este descubrimiento representó una etapa fundamental para la investigación astronómica porque significó el paso de un sistema solar todavía observable a simple vista a otro en que los instrumentos se convirtieron en protagonistas absolutos e imprescindibles del método de búsqueda.

La existencia de dos nuevos planetas ampliaba enormemente los límites del sistema solar más allá de la esfera dentro de la cual se creía antiguamente que se encontraban los cinco planetas conocidos (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno). También perdía todo misterio el número de siete astros móviles en el cielo, obtenido añadiendo a los cinco planetas el Sol y la Luna, un número que había permanecido inalterado por la sustitución copernicana de la Tierra por el astro mayor.



Arriba, una imagen de Neptuno. Sólo con el envío de sondas ha sido posible obtener imágenes tan bellas.

EL DESCUBRIMIENTO DE URANO

El descubrimiento de Urano se produjo a finales del siglo XVII. En el curso de sus

La imagen a toda página fue tomada por la Voyager 2 mientras rebasaba Neptuno; al fondo se ve el satélite Tritón.

observaciones, el astrónomo William Herschel (de origen alemán pero de nacionalidad inglesa) no había conseguido encontrar un telescopio que lo satisficiera plenamente, por lo que había decidido construir uno. Después de algunas pruebas, elaboró unas lentes de tanta calidad que el telescopio se convirtió en el mejor de su tiempo.

La noche del 13 de marzo de 1781, mientras observaba con su telescopio la constelación de Géminis, Herschel encontró una estrella en una región del cielo en la que no habría debido haber ninguna. El objeto celeste que el astrónomo estaba mirando no reunía las características de una estrella, pues en vez de ser puntiforme tenía forma de disco. Después de haber contemplado aquella zona del cielo varias noches, llegó a la conclusión de que el objeto se encontraba en lento movimiento respecto al campo estelar.

Al principio Herschel creyó que se podía tratar de un cometa, pero los cometas aparecían borrosos y desenfocados en los bordes, mientras que aquel objeto era muy nítido. Además, estaba tan alejado que si hubiera sido un cometa no habría sido visible con los instrumentos disponibles en aquel entonces.

Como demuestra esta foto de Urano y sus satélites, la observación telescópica desde la Tierra no permite apreciar ningún detalle.





Imagen de Urano tomada por la sonda Voyager en enero de 1986. Las estrías apenas visibles son de metano.

La noticia del avistamiento se difundió rápidamente por la comunidad científica; los astrónomos y matemáticos de toda Europa calcularon las dimensiones aproximadas del objeto y su órbita. En mayo de 1781, todo el mundo estaba convencido de que Herschel había descubierto el primer planeta no observable a simple vista desde la Tierra.

Los primeros cálculos demostraron claramente que el nuevo planeta estaba muy lejos del Sol, a una distancia doble de la que separaba nuestro astro central de Saturno. Así pues, el descubrimiento de Urano había doblado el tamaño conocido de nuestro sistema solar.

EL NOMBRE

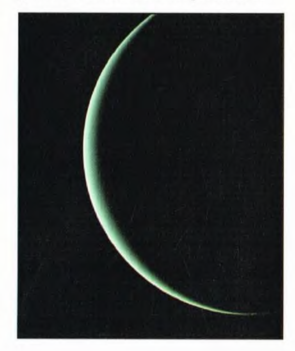
Los franceses, grandes rivales de los ingleses en el campo científico, sugirieron generosamente la posibilidad de bautizar el astro con el nombre de su descubridor, Herschel. Pero éste, de acuerdo con la English Royal Society, había propuesto que el planeta se llamara Georgium Sidus en honor del rey de Inglaterra Jorge III. No obstante, por motivos políticos, muchos países eran contrarios a la propuesta del astrónomo descubridor. Fue Bode quien sugirió el nombre de Urano para el planeta recién descubierto, basándose en la mitología y en la relativa proximidad del objeto a Saturno. En la mitología griega Urano representaba la personificación de los cielos; era hijo de Gea (la Tierra), padre de Saturno y abuelo de Júpiter.

Setenta años más tarde, en torno a 1850, se zanjó definitivamente la polémica cuando John Couch Adams volvió a proponer el nombre de Urano a la comunidad científica, que por fin lo aceptó por unanimidad.

A la derecha, otra imagen de Urano tomada por la Voyager. El ángulo entre la sonda y el planeta sólo permite ver una delgada hoz.

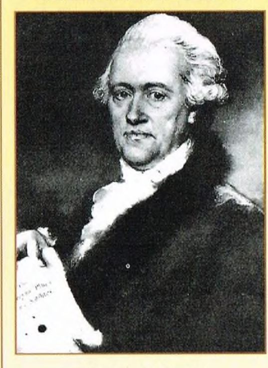
LOS SATÉLITES DE URANO

En los años siguientes, Herschel prosiguió sus observaciones construyendo telescopios cada vez mayores y dotados de mejores sistemas ópticos; en 1787 descubrió dos satélites de Urano, Titania y Oberón; en 1851, el astrónomo inglés William Lassel halló otras dos de las cinco lunas principales, Ariel y Umbriel. Los cuatro nombres fueron elegidos por el hijo de William Herschel; son las primeras lunas del sistema solar que no tienen un nombre procedente de los personajes de la mitología grecorromana. Sus nombres proceden de



PERSONAJES

WILLIAM HERSCHEL



1738-1822

William Herschel nació en Hannover en 1738. Alentado por su padre, emprendió en su juventud la carrera de músico. Se trasladó a Inglaterra después de la guerra de los Siete Años y prosiguió allí su carrera musical, convirtiéndose en compositor y organista y viajando por todo el país. En 1766 obtuvo el puesto de organista en la nueva capilla octogonal de Bath, de la que al cabo de unos años pasó a ser director de conciertos públicos.

Pese a su vocación por la música, Herschel recibió de su padre una educación completa, que incluía también nociones fundamentales de astronomía y matemáticas.

Cumplidos los treinta años, su pasión juvenil por la astronomía pasó a ser algo más que una afición. Herschel empezó a dedicar cada vez más tiempo a esta ciencia. Después de un período inicial en el que montaba telescopios con partes usadas, pues no podía permitirse comprar un telescopio grande, decidió construir uno. Muy pronto, su casa de Bath, que compartía con su hermano Alexander y su hermana Carolin, se transformó en un laboratorio habilitado para la construcción de las partes mecánicas, y sobre todo las ópticas, de telescopios reflectores.

Con el mejor de los telescopios que había construido, emprendió una tarea titánica, un mapa completo de la distribución de las estrellas en el cielo. Durante una de sus innumerables observaciones nocturnas, Herschel descubrió el séptimo planeta del sistema solar, Urano.

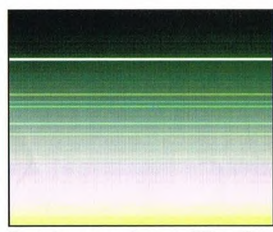
personajes de la literatura inglesa. Oberón y Titania son el rey y la reina de las hadas en la comedia de Shakespeare *El sueño de una noche de verano*; Ariel y Umbriel aparecen en *El rizo robado* de Alexander Pope; Ariel, además, es un duende de *La tempestad* de Shakespeare. En 1948, el astrónomo estadounidense Gerald Kuiper descubrió el último de los satélites principales de Urano, Miranda, que en *La tempestad* es la hija de Próspero.

ALGO EXTRAÑO

Con el paso del tiempo, los astrónomos calcularon con precisión la órbita de Urano a partir de las leyes del movimiento y de la gravitación descubiertas respectivamente por Johannes Kepler e Isaac Newton. Después del descubrimiento de Urano se había destruido un tabú, el carácter intocable del número de planetas. Se buscó entre las observaciones de los años precedentes y se descubrió que el planeta había sido observado más veces y se había descrito como una estrella débil. La idea de la estabilidad aristotélica del número de planetas estaba tan enraizada que a nadie se le había ocurrido controlar los movimientos de aquel débil objeto.



En este fotomontaje se representa a Urano con Ariel en primer plano y Umbriel a la derecha.

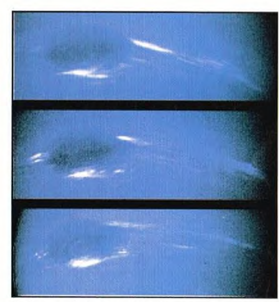


En esta imagen se ven los nueve débiles anillos que rodean Urano.

Fue entonces cuando algunos estudiosos pensaron en verificar si más allá de Urano había otros cuerpos que orbitaban alrededor del Sol. La hipótesis pareció probable cuando, en 1821, Alexis Bouvard comparó la órbita real del planeta Urano con las predicciones basadas en las leyes de Newton y se dio cuenta de que las dos órbitas no coincidían. Tal vez había un planeta todavía más lejano que perturbaba su órbita.

LAS PRIMERAS HIPÓTESIS

Iba tomando cuerpo entre los astrónomos la hipótesis de que las anomalías observadas dependían de las perturbaciones que sobre Urano ejercía un cuerpo desconocido situado más allá de su trayectoria. Ya en 1821, F.W. Bessel indicó en una carta a H. Olbers la posibilidad de que existiera un planeta más alejado basándose en las desviaciones de la órbita de Urano respecto a las previsiones teóricas. Un joven alumno



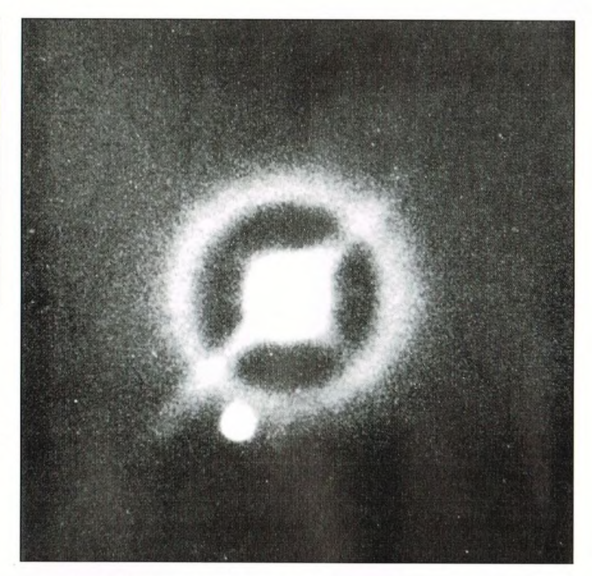
En las tres imágenes de arriba, tomadas cada 18 horas, se aprecia con qué velocidad se modifica la Gran Mancha Oscura de Neptuno.

suyo, Flemin, comenzó a abordar con energía y competencia este problema; seguramente lo habría resuelto dirigido por el gran astrónomo si una muerte prematura no se lo hubiera llevado en 1840. Bessel es una figura importante de la historia de la astronomía porque, además de indicar el camino correcto para resolver el problema de la órbita de Urano, fue el primer descubridor de un cuerpo no visible, la estrella compañera de Sirio.

DOS MATEMÁTICOS INTRÉPIDOS

Para calcular la diferencia en la órbita efectiva de Urano respecto a la predicha teóricamente era preciso sustraer los efectos gravitacionales de Saturno y Júpiter. Las pequeñas irregularidades del movimiento de Urano eran lo único que los astrónomos tenían para determinar de qué dirección procedía la fuente de la perturbación, a qué distancia estaba y cuál era su masa. Como se creía que dicha fuente era un planeta, había que buscar un objeto en movimiento. El problema, sin embargo, era muy difícil de resolver; algunos matemáticos pensaban incluso que era irresoluble y ninguno se arriesgó a abordarlo.

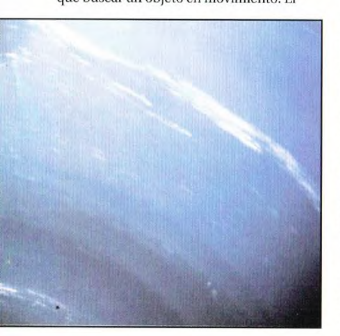
Afortunadamente, dos estudiosos trataron de resolverlo independientemente el uno del otro y sin que ninguno supiera del trabajo del otro. Eran John Couch Adams y Urbain Leverrier.



Neptuno fotografiado desde la Tierra en 1949. La cruz visible en la imagen no es real, sino debida al proceso fotográfico.

LA PRIMERA TENTATIVA

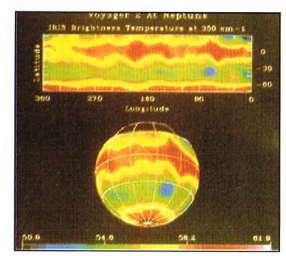
Adams empezó a trabajar en el problema después de haberse licenciado en Cambridge en 1843. Como punto de partida, supuso que el hipotético planeta debía distar 38,4 unidades astronómicas, el doble que Urano; este valor era muy próximo al calculado a partir de la ley de Bode (una sucesión matemática que parecía explicar y predecir la distancia de los planetas al Sol). La solución que encontró Adams fue sometida a Airy, que trabajaba en el Observatorio de Greenwich. Pero este último no le prestó atención porque pensaba que el problema era matemáticamente irresoluble. Pese a ulteriores modificaciones, la teoría no fue tomada en consideración.



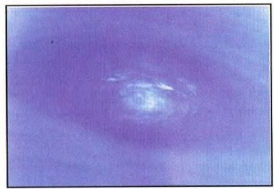
A la izquierda se muestra cómo un tratamiento por ordenador ha permitido visualizar las delgadas estructuras nubosas de las capas superficiales de Neptuno.

SE VUELVE A PROPONER LA IDEA

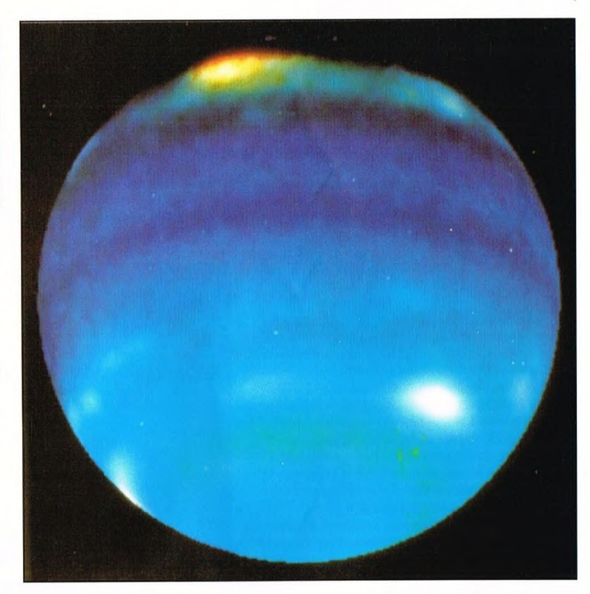
En Francia, Leverrier, dirigido por F. Arago, empezó a trabajar en el mismo problema en junio de 1845 y al año siguiente presentó los resultados de su estudio a la Academia de



En este mapa de Neptuno, los distintos colores representan las diferencias de temperatura entre las diversas regiones.



Gracias al telescopio Hubble, en órbita alrededor de la Tierra, se pueden observar muchos detalles de Neptuno sin necesidad de enviar sondas.

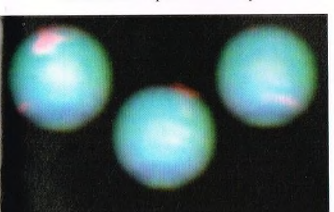


Ciencias de París. Al percatarse de que sus colegas franceses no tenían la menor intención de buscar el hipotético planeta, Leverrier envió sus datos a Airy, en el Observatorio de Greenwich. Esta vez, Airy se dio cuenta de que el trabajo de Adams valía la pena, pero no le dijo que se estaba ocupando del problema ni le mencionó el trabajo de Leverrier, ocho meses posterior al del inglés.

En Inglaterra, la búsqueda se inició en julio de 1846 en el Observatorio de Cambridge, pero J. Challis, el astrónomo encargado, decidió pasar por alto la posición que le habían suministrado y realizó una búsqueda de largo alcance, sin encontrar nada.

EL DESCUBRIMIENTO DE NEPTUNO

En agosto de 1846, Leverrier presentó un segundo trabajo, más detallado, sobre la posición del planeta, su masa y sus elementos orbitales. Fue alabado por su habilidad matemática pero nadie se ofreció a confirmar sus previsiones mediante la observación. Al fin, frustrado, Leverrier acudió a Johann Galle, ayudante del Observatorio de Berlín. Galle recibió la carta de Leverrier el 23 de septiembre de 1846. Aquella noche, junto a uno de sus alumnos ya licenciado (Heinrich d'Arrest), apuntó el telescopio hacia la posición indicada. Apenas transcurrida una hora, los dos identificaron el planeta en una posición no



La Pequeña Mancha Oscura se encuentra al sur de la Grande. Estas manchas podrían ser enormes tempestades similares a la Mancha Roja de Júpiter.

muy distante de la anunciada por los cálculos. Un verdadero triunfo para la teoría: ¡se había descubierto Neptuno!

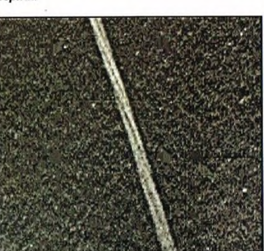
POLÉMICAS FINALES

Grande fue el escándalo en Inglaterra, donde se había estado en posesión de las informaciones necesarias pero se había fracasado. Leverrier fue considerado como el descubridor porque los alemanes habían encontrado el planeta gracias a sus cálculos. Cuando los ingleses trataron de reivindicar la paternidad del descubrimiento, la Academia de Ciencias de París se opuso y hubo una áspera disputa. Al fin, la polémica fue amainando y, cuando estuvo clara la contribución de Adams, éste recibió un justo reconocimiento. Actualmente se considera a ambos, Adams y Leverrier, como los descubridores de Neptuno.

A la izquierda, tres imágenes de Neptuno tomadas por el Hubble. El telescopio espacial ha demostrado que las capas superficiales de la atmósfera presentan una notable dinámica.

La historia del descubrimiento de Neptuno es apasionante y ejemplar para comprender la importancia del método científico y la del factor humano. Es de notar que en esta ocasión instituciones distintas de países distintos contribuyeron al resultado final. Al éxito de Leverrier y de Adams se le ha dado siempre un notable relieve, ya que fue la primera demostración en astronomía del valor del maridaje entre la teoría y la observación.

Abajo, porción de uno de los anillos de Neptuno. El material que lo compone parece describir una espiral.



ESTRELLAS DOBLES

La fuerza de la gravedad tiende a menudo a agrupar las estrellas en pares, en órbita la una alrededor de la otra, constituyendo un sistema similar al que forman los planetas y el Sol. Estos sistemas se llaman dobies o múltiples.

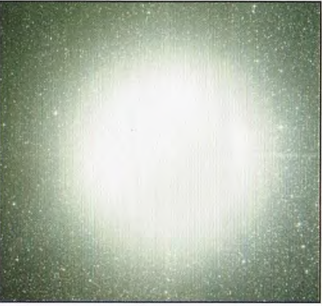


Las estrellas no son cuerpos celestes solitarios, pues se aglomeran formando asociaciones y cúmulos más o menos poblados. A veces, el vínculo entre estrellas puede ser todavía más estrecho. En muchos casos las estrellas forman lo que los astrónomos denominan estrellas dobles o sistemas binarios. Como si fueran hermanas siamesas, la evolución de una influye sobre la de la otra, por lo que estas estrellas están inevitablemente ligadas entre sí y comparten un destino común.

EL DESCUBRIMIENTO DE LAS ESTRELLAS DOBLES

La existencia de estrellas dobles, como se las llamaba entonces, fue uno de los descubrimientos principales realizados con los primeros anteojos astronómicos. Una de las primeras estrellas dobles identificadas como tales fue Mizar, descubierta por el astrónomo italiano Riccioli. El nombre árabe de este astro no dice gran cosa a nuestros expertos, pero se trata de una de las estrellas más observadas del cielo: es la estrella central del trío que forma el timón del Carro de la Osa Mayor. Como las estrellas son los cuerpos celestes más abundantes del universo, no se tardó mucho en pensar que Mizar no era un caso único y que debían de existir otras estrellas dobles. Muy pronto, las observaciones confirmaron prolijamente esta hipótesis. En 1804, el astrónomo William Herschel, basándose en el trabajo de 24 años de observación, publicó un catálogo en el que figuraban unas 700 estrellas dobles.

Al comienzo, sin embargo, no estaba claro todavía si las estrellas dobles observadas estaban físicamente ligadas entre sí o si la asociación propuesta era un mero efecto de perspectiva. En muchos casos, el brillo de las estrellas era muy distinto, lo cual podía llevar a pensar que se encontraban a distancias diferentes. Para resolver la cuestión no había otro método que tratar de medir la distancia a algunas estrellas dobles por el método de la paralaje. Las observaciones las realizó el propio Herschel. Sorprendentemente, el desplazamiento paraláctico de una de las estrellas respecto a la otra no era el que se esperaba. Herschel observó que, en vez de una oscilación simétrica con un período de seis meses, cada estrella seguía en el cielo una trayectoria más complicada de tipo elipsoidal. Dado que, según las leyes de la mecánica celeste, dos cuerpos ligados gravitacionalmente recorren una órbita elíptica, las observaciones de Herschel llevaron a la conclusión de que las estrellas dobles tenían que estar asociadas físicamente y por lo tanto constituían sistemas binarios.



A la izquierda, el sistema múltiple de Alfa Centauri, el más próximo a la Tierra. Se trata de un sistema de estrellas, la más débil de las cuales, llamada Próxima, es la más cercana a nuestro planeta. Las dos más brillantes están separadas sólo por una distancia similar a la de Urano al Sol. En la imagen, la luz del sistema inunda la región circundante, dando una falsa impresión de gran tamaño. La estrella más brillante de este trío, Rigil Kentarus, es la cuarta más brillante de toda la bóveda celeste, pero es invisible desde latitudes como la de España.

LA FORMACIÓN DE LAS ESTRELLAS BINARIAS

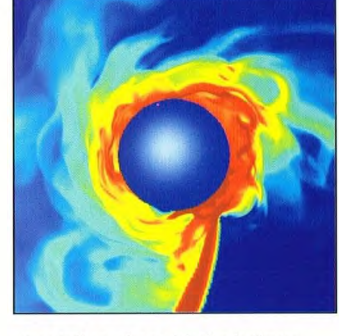
Los sistemas binarios pueden nacer de dos procesos distintos. En algunos casos, se trata de auténticas «partes gemelas»: las dos estrellas habrían nacido de la misma nube progenitora y la formación de dos estrellas en vez de una sería debida a una distribución de masa no uniforme con dos regiones

ALFA CENTAURI

El sistema múltiple más próximo a nuestro sistema solar es el de Alfa Centauri, a una distancia de unos cuatro años luz. Alfa Centauri es una de las estrellas más luminosas del cielo austral y es fácilmente reconocible incluso a simple vista. El ojo humano, sin embargo, no tiene gran poder de resolución, por lo que no capta la distancia angular de pocos segundos de arco que separa Alfa Centauri de sus compañeras. El sistema, por tanto, aparece como una estrella única, aunque basta un modesto telescopio de aficionado para separar las dos componentes principales. Alfa Centauri y su compañera no son muy distintas de nuestro Sol en lo tocante a masa, tamaño y color. Las dos estrellas giran la una alrededor de la otra con un período de unos 80 años siguiendo una órbita muy elíptica que las lleva, alternativamente, a aproximarse entre ellas hasta una distancia mínima de 11 unidades astronómicas (periastro) y alejarse hasta una distancia máxima de 35 unidades astronómicas (apoastro).

de densidad más elevada en torno a las cuales se habrían condensado las protoestrellas. Por tanto, las dos estrellas tendrían la misma edad, pero presumiblemente masas distintas, hecho que condicionaría su evolución ulterior.

En los demás casos, la formación del sistema binario sería consecuencia de la proximidad entre dos estrellas formadas cada una por su lado, con la subsiguiente captura gravitacional de una de las dos. Este mecanismo es menos frecuente porque requiere que la velocidad relativa de las dos estrellas sea lo bastante baja: sólo así puede producirse la captura gravitacional. Además, ambas deben pertenecer a asociaciones estelares bastante densas, como los cúmulos globulares, para que la probabilidad del encuentro no sea demasiado pequeña.

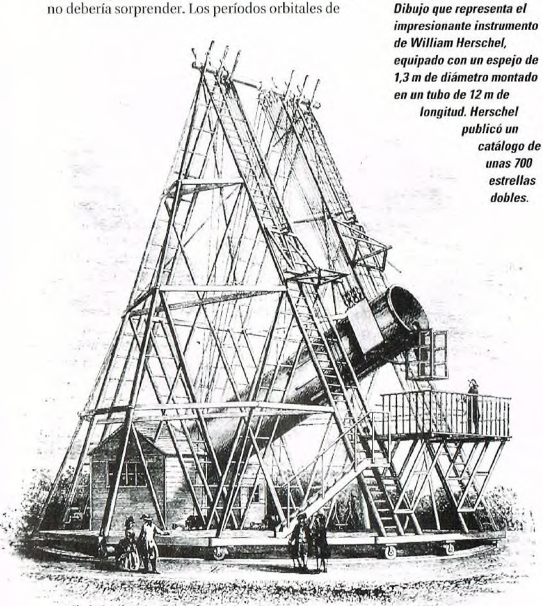


La estrella Algol contiene un sistema binario formado por un astro de la secuencia principal y una estrella compañera que orbita a poca distancia. En la imagen se muestra un test realizado para determinar la densidad del sistema por medio de técnicas de simulación.

LAS BINARIAS VISUALES

Se definen las binarias visuales como aquellas estrellas binarias reconocidas como tales por su movimiento respecto a otra estrella que se supone que es su compañera. Actualmente, se han identificado unas 70.000 estrellas dobles visuales, pero sólo para el 1% de ellas se ha logrado determinar con precisión los parámetros orbitales (el período, el semieje mayor de la órbita, la época del paso por el periastro, la inclinación del plano orbital respecto a la visual y la excentricidad). Esta escasez de datos no debería sorprender. Los períodos orbitales de estas estrellas pueden ser del orden de décadas e incluso de siglos. Reconstruir sus órbitas significa reunir pacientemente posiciones medidas durante decenios por distintos observatorios. Desgraciadamente, en muchos casos se obtiene sólo una porción de la órbita; la parte que falta tiene que deducirse de los datos de que se dispone. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que el plano orbital del sistema puede estar inclinado respecto a la visual, por lo que la órbita reconstruida de esta manera es sólo aparente y puede ser muy distinta de la real. De todas maneras, si la medida de la órbita aparente es lo bastante precisa, es posible calcular la órbita real del sistema binario por medio de las dos primeras leyes de Kepler. Una vez determinada la órbita real, conociendo el período, la separación angular de las dos estrellas y su distancia se puede utilizar la tercera ley de Kepler para calcular la masa total del conjunto.

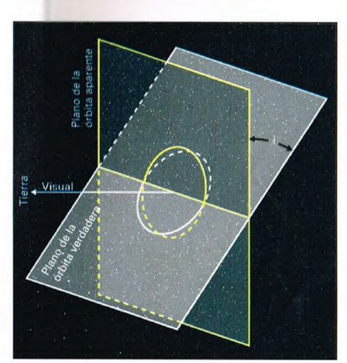
Para muchas binarias visuales, esto es todo lo que se consigue saber. Para calcular la masa de cada estrella por separado, es preciso determinar además el cociente entre dichas masas. En teoría, para calcular este último valor no basta el movimiento relativo, el de una estrella con respecto a la otra; hay que determinar también el movimiento absoluto que cada estrella realiza en torno al centro de masas común. Según las leyes de la mecánica celeste, el cociente entre las distancias de los objetos al centro de masas da una medida indirecta del cociente entre las masas. Se utiliza entonces la tercera ley de Kepler y el problema está resuelto. Obviamente, la



Dibujo que representa el impresionante instrumento de William Herschel, equipado con un espejo de 1,3 m de diámetro montado en un tubo de 12 m de longitud. Herschel publicó un catálogo de unas 700 estrellas dobles.

CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRELLAS BINARIAS

Las estrellas dobles (o binarias) se dividen en tres clases principales: visuales, fotométricas y espectrométricas. Es importante observar que esta clasificación no refleja diferencias intrínsecas entre varias clases de estrellas, sino que se refiere esencialmente al modo como se ha determinado la asociación.



En general, el plano orbital de un sistema doble es oblicuo respecto a la visual desde la Tierra. La órbita observada es «aparente» y el ángulo entre ella y la órbita verdadera se llama «inclinación».

determinación del movimiento absoluto todavía es más complicada que la medida del movimiento relativo. Para lograrla, es necesario medir con gran precisión, año tras año, la posición de las dos estrellas respecto a otras que se suponen fijas.

EL CENTRO DE MASAS

Dos estrellas de un sistema binario giran recorriendo órbitas elípticas alrededor de un punto común, que para ambas coincide con uno de los focos. En cualquier momento, las estrellas están alineadas con el centro de masas y los productos de las masas por las distancias a dicho punto son iguales. Si M_1 y M_2 son las masas de las dos estrellas y D_1 y D_2 las respectivas distancias al centro de masas, se cumple $M_1 \bullet D_1 = M_2 \bullet D_2$. El cociente entre las distancias coincide con el cociente entre las masas.

LAS BINARIAS FOTOMÉTRICAS

Se definen como binarias fotométricas aquellos pares de estrellas cuyo carácter binario se determina únicamente a partir de variaciones periódicas de luminosidad inducidas por los eclipses recíprocos de la una por la otra. Por ello, se conocen también como binarias eclipsantes. Naturalmente, para que una estrella eclipse a su compañera es preciso

LAS PARALAJES DINÁMICAS

Dado un sistema binario, si conociéramos directamente la distancia D entre las estrellas podríamos utilizar el valor medido de la separación angular (D') para calcular la paralaje p de la estrella sin más que invertir la relación D (U.A.) = D'/p. Las paralajes de las estrellas así determinadas se llaman paralajes dinámicas.

UNAS RELACIONES MUY ESTRECHAS

Las estrellas dobles constituyen un interesante objeto de estudio porque pueden suministrar informaciones sobre las masas de las componentes. Es interesante notar que las observaciones sugieren que la mayor parte de las estrellas se reúnen en sistemas dobles o múltiples. En este aspecto, nuestro Sol, que está solo, constituye una excepción. En la imagen grande, un pintor ha representado el paso visible de un hipotético planeta por el sistema doble de Alfa Lyrae.



Una estrella perteneciente a un sistema binario se puede identificar por su movimiento en el cielo. Este movimiento, en vez de ser rectilíneo, presenta un aspecto ondulante imputable a la presencia de una compañera, eventualmente invisible, que arrastra la estrella a un lado y a otro.

que el plano orbital esté en buena medida en la dirección de la visual. Cuanto más alineado está el plano orbital con el observador, tanto más completo es el eclipse y más pronunciada es la variación de luminosidad. En consecuencia, estudiando las características de la curva de luz de una binaria fotométrica se puede estimar la inclinación del plano orbital.

A partir de la curva de luz se puede calcular también el período orbital del sistema. Como en una órbita completa se producen dos eclipses, la curva de luz del sistema se caracteriza por la presencia de dos mínimos de intensidad más o menos pronunciados según el tamaño relativo de ambas estrellas.

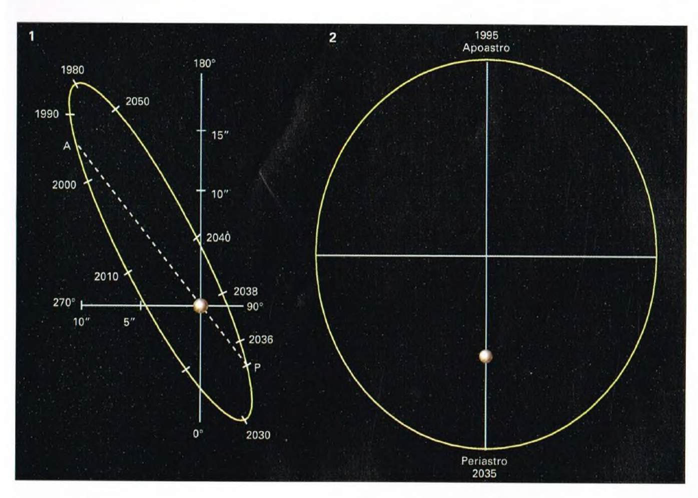
DETERMINACIÓN DE LA MASA TOTAL

La tercera ley de Kepler permite determinar la masa total de dos estrellas orbitantes (1 y 2) conociendo el período del sistema binario. Según esta ley, las masas de las estrellas (M_1 y M_2) dependen de la longitud (D) del semieje mayor de la órbita relativa de ambas estrellas y del período orbital (P) según la relación:

$M_1 + M_2 = 4\pi^2 \cdot D^3/G \cdot P^2$

donde G es la constante de la gravitación universal. Naturalmente, el problema principal consiste en medir D y P. El valor de D se deduce de la separación angular D' entre las estrellas, medida en segundos de arco, una vez conocida la distancia d del sistema binario, medida a partir de la paralaje p. El valor de D (en unidades astronómicas) viene dado simplemente por el cociente entre D' y p.

En el caso de las binarias visuales, el valor del período P se deduce de la reconstrucción de la órbita. Es importante observar que la tercera ley de Kepler permite determinar sólo la masa total del sistema binario. Para determinar la masa de cada estrella, es necesario conocer también el cociente entre las masas. Esta información se obtiene utilizando distintas técnicas que dependen de las características del sistema binario.



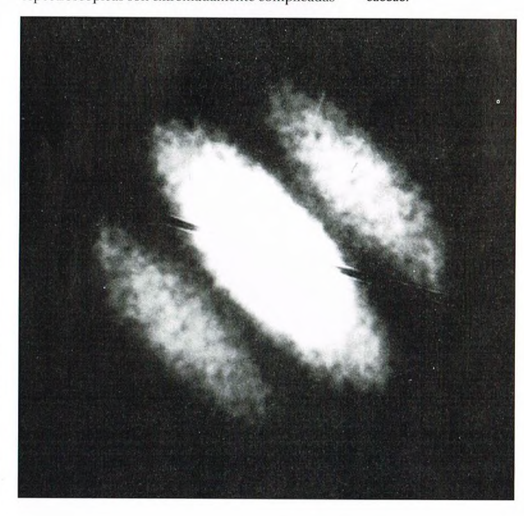
Órbita aparente del sistema Alfa Centauri (1) reconstruida a partir de la posición celeste de una de las dos estrellas principales, medida a lo largo de años. La órbita aparente es mucho más elíptica que la verdadera porque el plano orbital está inclinado 11 grados respecto a la visual. A y P indican, respectivamente, el apoastro y el periastro correspondientes a la órbita verdadera (2).

El intervalo de tiempo entre tres mínimos sucesivos de la curva de luz coincide con el período orbital. Los períodos de las binarias fotométricas son mucho más breves que los de las binarias visuales, generalmente de unas horas a unos días. Esta diferencia es puramente observacional, ya que es mucho más fácil detectar variaciones de luminosidad en períodos de pocos días que a lo largo de decenios. En cambio, para reconstruir la órbita de una binaria visual es necesario un elevado número de observaciones distribuidas a lo largo de un intervalo de tiempo dilatado, lo cual privilegia, obviamente, las binarias de largo período.

LAS BINARIAS ESPECTROSCÓPICAS

La espectroscopia estelar, por medio del estudio del efecto Doppler de las rayas espectrales, permite decidir si dos estrellas próximas constituyen efectivamente un sistema binario o si su proximidad es un puro efecto de perspectiva. Además, esta técnica permite localizar binarias demasiado próximas para que los telescopios puedan resolverlas e identificarlas como binarias visuales. Las binarias que muestran la «firma» característica del efecto Doppler en su espectro se llaman binarias espectroscópicas. Naturalmente, no todas las binarias son espectroscópicas. Para que se produzca el desplazamiento Doppler de las rayas espectrales, las dos estrellas deben acercarse y alejarse alternativamente en dirección radial, lo cual implica que el plano orbital esté orientado de un modo especial. Cuando dicho plano forma un ángulo de 90° con la visual, el sistema se ve de frente y las dos estrellas orbitan a la misma distancia del observador. Por tanto, la inclinación del plano orbital del sistema debe ser inferior a 90°. En particular, el desplazamiento Doppler es máximo cuando la inclinación es nula y el plano orbital yace exactamente a lo largo de la visual. En otros casos, las binarias espectroscópicas no son reconocidas como tales a causa de los límites observacionales. En el caso de estrellas más bien débiles, las medidas espectroscópicas son extremadamente complicadas

Abajo, fotografía de la estrella 12 Persei obtenida con un método interferométrico que pone de manifiesto su carácter binario. Si hubiera una sola estrella, su imagen no se desglosaría en tres partes, como efectivamente sucede.



LA FUNCIÓN DE MASA

La información necesaria para «pesar» las estrellas de un sistema binario se obtiene espectroscópicamente en el caso de las binarias espectroscópicas. Midiendo el desplazamiento Doppler de las rayas espectrales de una de las dos estrellas (supongamos que es la 1) es posible obtener el período orbital (P) del sistema binario y la velocidad radial (v_1) de la propia estrella. Estas dos magnitudes están relacionadas con las masas de las estrellas a través de la relación:

$P \cdot v_1^3/2\pi = M_1 \cdot \text{sen}^3\, i/(1 + q)^2$

donde i es la inclinación del plano orbital respecto a la visual y $q = M_1/M_2$ es el cociente entre las masas de las estrellas. Esta igualdad se llama función de masa de la estrella 1. De ella es posible obtener el valor del cociente de masas q a partir de magnitudes medibles (P y v_1). La única incógnita es el valor de la inclinación i del plano orbital, la cual, en algunos casos, puede estimarse con un error razonable cuando la binaria es espectroscópica y fotométrica (espectrofotométrica). Una vez conocido el cociente de masas, basta combinar esta información con la tercera ley de Kepler para obtener la masa de cada una de las estrellas.

Las cosas se complican cuando las estrellas están demasiado alejadas o demasiado próximas. En el primer caso, la velocidad orbital sería tan pequeña que el desplazamiento Doppler de las rayas espectrales sería demasiado exiguo para poderlo medir. En el segundo caso, obviamente, sería imposible medir la separación angular entre las estrellas y utilizar la tercera ley. En tal situación, la solución consiste en calcular la función de masa de la estrella 2 a partir de su velocidad radial v_2:

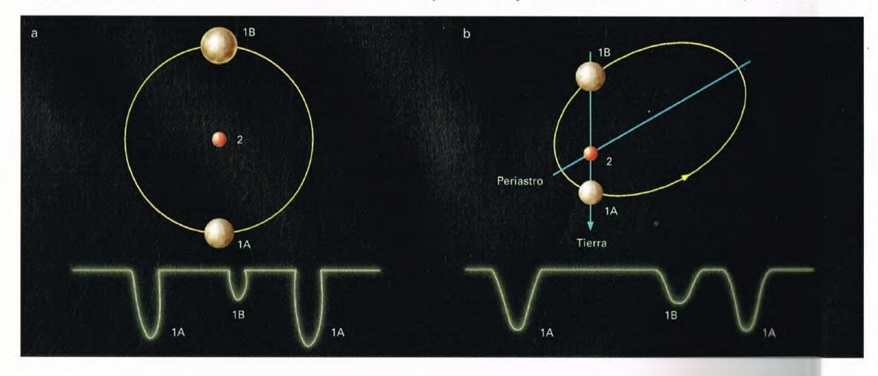
$P \cdot v_2^3/2\pi = M_2 \cdot \text{sen}^3 i/(1 + q)^2$.

Combinando las funciones de masa de ambas estrellas se obtienen sus masas respectivas.

y difícilmente llegan a la vigésimo segunda magnitud, detectable sólo con grandes telescopios y algunas horas de exposición.

Las observaciones demuestran que las estrellas binarias constituyen un fenómeno más bien común en nuestra Galaxia y, por tanto, en el universo. No obstante, es difícil determinar exactamente qué porcentaje corresponde a las estrellas dobles respecto a las estrellas aisladas. Un vulgar cociente entre el número de binarias identificadas y el resto de la población estelar parecería indicar que las primeras son minoría. Se trata, sin embargo, de una conclusión equivocada, fruto de lo que en astronomía se conoce como «efecto de selección». Para que las estrellas binarias puedan ser reconocidas como tales, sus características esenciales deben ser fácilmente identificables, como en el caso de las dobles visuales, las dobles fotométricas y las dobles espectrométricas. Esto impone severas limitaciones desde un punto de vista observacional. En el caso de las dobles visuales, por ejemplo, su separación angular no debe ser inferior al poder de resolución de los telescopios; por lo tanto, no deben distar demasiado del observador. Análogamente, las dobles fotométricas y espectrométricas deben ser lo bastante brillantes como para que se puedan detectar las modulaciones del flujo y se pueda medir con precisión la longitud de onda de las rayas espectrales. La muestra de estrellas explorables, por tanto, es extremadamente reducida.

De todas maneras, deduciendo la tasa de formación de estrellas binarias a partir de modelos teóricos detallados, se puede estimar que constituyen entre el 30 y el 70% de la población estelar.



Abajo, curva de luz de las binarias fotométricas. Cuando está en la posición 1A, la estrella 1 provoca el eclipse de la estrella 2 y se obtiene el primer mínimo. Cuando está en la posición 1B, la estrella 1 sufre el eclipse producido por la estrella 2 y se obtiene el segundo mínimo. Cuando la estrella 1 vuelve a estar en 1A se produce un nuevo mínimo. Como la estrella 1 es mayor que la 2, el mínimo de 1A es más acentuado (mínimo principal) que el de 1B (mínimo secundario). Si las estrellas se mueven a lo largo de una órbita casi circular (a), el segundo mínimo se produce exactamente en la mitad del período; en cambio, si la órbita es elíptica (b), el segundo mínimo se anticipa o se retrasa.

CORONA BOREAL

Pequeña pero fácilmente reconocible por su forma característica, la Corona Boreal es una diadema puesta en el cielo.



Casi encajada entre dos colosos del cielo, Hércules y el Boyero, la constelación de la Corona Boreal está dominada por Gemma, su estrella más brillante, situada casi en el centro del semicírculo que forman las estrellas que la componen.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

A unos veinte grados de Arturo, la estrella más brillante del Boyero, en dirección noreste, se encontrará un grupito de estrellas dispuestas formando una corona. No es de extrañar, pues, que ya en la Antigüedad la constelación se conociera con el nombre de Corona Boreal, para distinguirla de la Corona Austral, situada a declinaciones más meridionales.

ESTRELLAS PRINCIPALES

De Alfa (magnitud 2,2), llamada también Gemma o Alphecca, ya se ha dicho que es la más luminosa. Alfa posee una compañera con la cual da lugar a eclipses recíprocos, pero la consiguiente variación de luminosidad es demasiado pequeña para poderla apreciar a simple vista.

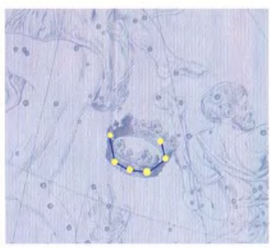
Sigma es otra estrella doble, de magnitud 5,4, fácilmente separable en un par de pequeñas estrellas de magnitudes 5,6 y 6,6, respectivamente.

R es el prototipo de una clase de variables con características bastante extrañas. Normalmente, esta estrella está en el límite de detección a simple vista, ya que su magnitud es de 5,7; no obstante, de improviso y sin ningún signo de regularidad, esta magnitud puede descender hasta 14,8. Este salto de más de nueve unidades la sitúa fuera del alcance de los más comunes telescopios de aficionados. En general, los descensos hasta los valores mínimos son muy rápidos, mientras que las subidas hasta los valores mayores pueden durar bastantes meses. Todavía no está clara la causa que provoca variaciones tan marcadas de la emisión luminosa de esta estrella, pero parece que el fenómeno puede atribuirse a la emisión de nubes de polvo compuestas de carbono, un elemento muy abundante en la estrella.

Un comportamiento en cierto modo contrario es el de T, normalmente de décima magnitud; este astro sufre explosiones imprevistas que lo llevan hasta la segunda magnitud y a rivalizar con Gemma. Las explosiones de T afectan sólo a las capas superficiales del astro, sin involucrar la estructura entera de la estrella. En realidad, T es un sistema formado por dos estrellas, una gigante roja y una estrella pequeña de color azul que orbita alrededor de la primera y le sustrae materia de las capas más exteriores. Este mecanismo genera fuertes inestabilidades que pueden resolverse con explosiones que proyectan materia al espacio. Las más importantes explosiones de este tipo tuvieron lugar en 1866 y 1946; en el primer caso, para observarla se utilizó un simple telescopio y en el segundo también un espectroscopio, que permitió determinar la velocidad de expansión del gas producido por la explosión. Las medidas arrojaron un dato interesante: los gases viajan a una velocidad de 5.000 km/s.



Parte central del cúmulo de galaxias de la Corona Boreal fotografiada con el histórico reflector de Monte Wilson.



La constelación de la Corona Boreal constituye uno de los pocos casos en que la disposición de las estrellas en el cielo recuerda la figura asociada.

OBJETOS DE LA CORONA BOREAL

La Corona Boreal no contiene objetos observables con telescopios de aficionados, aunque en su interior hay cúmulos de galaxias. La distancia que nos separa de estos objetos es considerable, cerca de mil millones de años luz. Por esta razón, sus componentes son muy débiles, de magnitud superior a 15.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

CORONA BOREAL

La forma de esta pequeña constelación la liga indisolublemente a historias de coronas.
Según una leyenda, Baco dio a Ariadna una corona como regalo de bodas. Cuando Ariadna murió, el dios lanzó la corona al cielo, donde permaneció en forma de constelación. Otro relato mitológico relaciona esta constelación con la historia de Teseo y el Minotauro, el monstruo que vivía en el Laberinto de Creta. Gracias a la ayuda de Ariadna, Teseo logró derrotar al Minotauro y salir del Laberinto. Teseo, agradecido, regaló una corona de oro a la mujer que le había ayudado.

DÓNDE BUSCARLA

CORONA BOREAL

Su ubicación en la bóveda celeste hace que sea completamente inobservable desde latitudes más al sur de 65° S.
Abarca una región del cielo comprendida entre las 15 horas 15 minutos y las 16 horas 25 minutos de ascensión recta, y entre 26 y 40° de declinación.


HERCULES
40°
Sigma
CORONA BOREALIS
Iota
Theta
Épsilon
R
T
Beta
Delta
Gamma
Alfa
Abell 2065
30°
SERPENS CAPUT
BOOTES
16 h
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Galaxias
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

LAS LEYES DE KEPLER

Los movimientos de los planetas, que desde la Tierra parecen complicados, con trayectorias a menudo carentes de orden, son en realidad muy simples y pueden describirse a partir de las tres leyes formuladas por Kepler antes de la invención del telescopio.

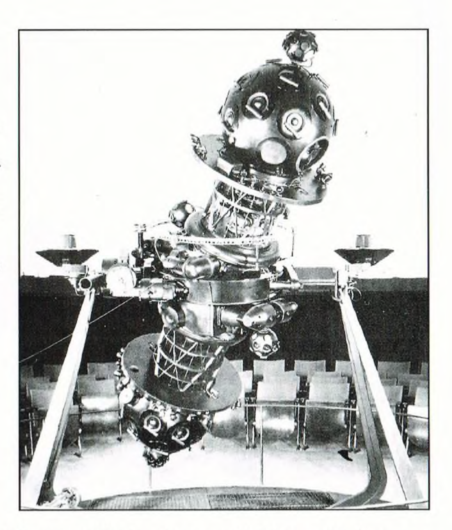


Las órbitas de los planetas, tal como se ven desde la Tierra, son muy difíciles de describir; sabemos hoy que esta dificultad nace del hecho de que también la Tierra es un planeta que se mueve alrededor del Sol.

Antes de que se aceptara el modelo copernicano, se creía que nuestro planeta estaba en el centro del universo y que éste giraba a su alrededor, con los astros situados en esferas cristalinas. Para explicar las órbitas planetarias, que en ciertos períodos presentaban movimientos retrógrados, se introdujeron complicados mecanismos capaces de dar cuenta del extraño comportamiento de las llamadas «estrellas errantes».

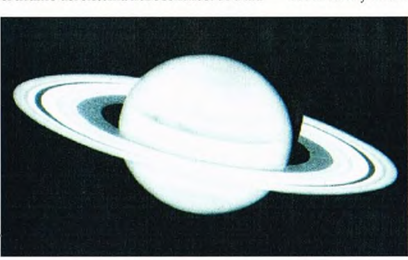
UN POCO DE HISTORIA

En el Renacimiento, la visión del mundo cambió radicalmente. El primer ataque a la visión geocéntrica fue obra de Copérnico, quien teorizó un universo en cuyo centro estaba el Sol, con la Tierra y los planetas colocados en órbitas circulares a su alrededor. Copérnico no basaba sus conclusiones en sólidos argumentos científicos sino en consideraciones de tipo filosófico; no obstante, sus ideas surgieron en el momento justo, pues al poco tiempo tres personajes, partiendo de precisos estudios sobre los objetos celestes, sellaron el triunfo del sistema heliocéntrico. Se trata de Tycho Brahe, Johannes Kepler y Galileo Galilei.



A la derecha, típico planetario Zeiss. El movimiento de los objetos celestes es hoy bien conocido y cualquiera puede verlo reproducido en un planetario. No obstante, el descubrimiento de las leyes que rigen las órbitas de los planetas fue el fruto del duro trabajo de dos científicos que vivieron a caballo entre los siglos XVI y XVII: Tycho Brahe y Johannes Kepler. En honor de este último, que las formuló, dichas leyes llevan su nombre.

El papel del astrónomo danés Tycho Brahe fue de primera importancia, si bien el sistema que elaboró, una especie de híbrido entre los sistemas tolemaico y copernicano, estaba destinado al fracaso. Tycho era un magnífico observador y en su isla danesa de Hven disponía de instrumentos de excepcional precisión para la época. Gracias a estos refinados instrumentos, Tycho obtuvo una ingente cantidad de datos sobre los movimientos planetarios. Después de él, Kepler realizó un atento trabajo de elaboración de los datos y formuló las tres leyes que regulan el movimiento de los planetas y llevan su nombre. El sistema copernicano, sin embargo, no fue aceptado hasta las observaciones de Galileo con el telescopio y la formulación de la teoría de la gravitación universal por Isaac Newton.

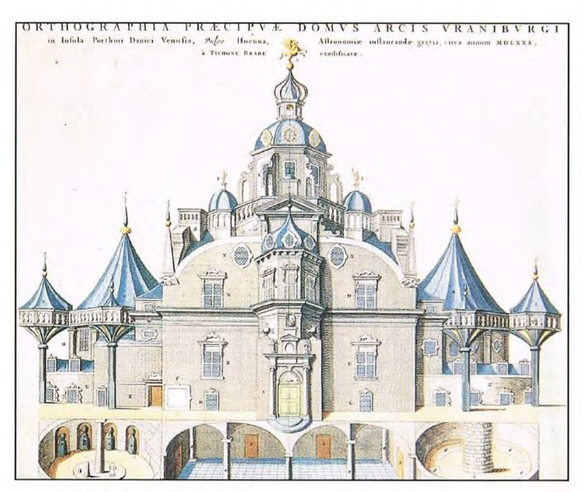


El planeta Saturno, como todos los demás planetas del sistema solar, orbita alrededor del Sol siguiendo las leyes de Kepler.

LA LEY DE LA ELIPSE

La primera de estas leyes es la que, con su extrema simplicidad, selló el fin de la teoría tolemaica. Dicha ley establece que los planetas recorren órbitas planas elípticas en uno de cuyos focos está el Sol.

Esto significa que nuestra estrella está situada en un punto interior al recorrido del



Arriba y abajo a la derecha, observatorio de la isla de Hven en el que el astrónomo danés Tycho Brahe realizó las observaciones que luego utilizó Kepler para formular las famosas leyes que describen el movimiento de los planetas.

planeta y por tanto se convierte en punto de referencia del propio planeta. Además, la trayectoria descrita por el objeto orbitante, el planeta, no es la complicada curva debida al movimiento de su esfera, del epiciclo y del deferente (los dos círculos introducidos en la teoría tolemaica para dar cuenta de los «lazos» que un planeta describe en la esfera celeste), sino una línea simple y de propiedades geométricas bien conocidas, la elipse.

Figuran como casos particulares las órbitas circulares, que son aquellas en que los dos focos de la elipse coinciden. La aparente complicación de las órbitas planetarias estriba en que la Tierra es un planeta, y como tal obedece a esta ley, por lo cual el movimiento de los planetas en el cielo viene dado por la superposición de su movimiento propio y del movimiento terrestre.

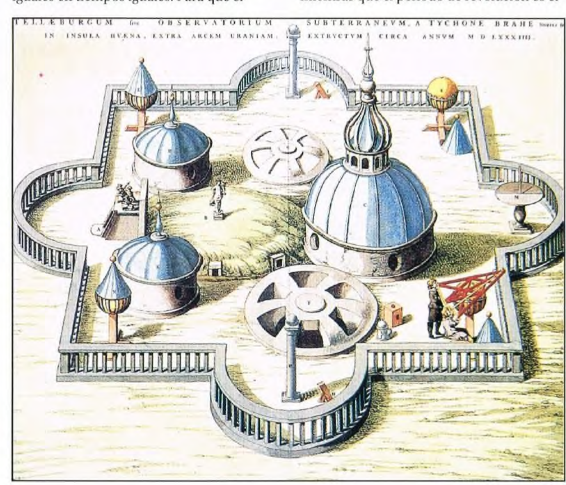
LA LEY DE LAS ÁREAS

Kepler no se limitó a establecer la forma de las órbitas. Para que la descripción fuera precisa, hacía falta formular la llamada ley horaria, que da la trayectoria en función del tiempo. Basándose en sus propios cálculos, Kepler estableció que un planeta no recorre su órbita a velocidad constante, sino que se acelera cuando se encuentra cerca del Sol y se va frenando a medida que se aleja. Esta variación, además, sigue un comportamiento preciso que cabe sintetizar diciendo que la línea que une el Sol con el planeta (que en lenguaje técnico se llama «radio vector») barre superficies iguales en tiempos iguales. Para que el concepto quede más claro, consideremos dos puntos de la órbita, uno situado en la parte próxima al Sol y el otro en la parte opuesta. La distancia Sol-planeta es menor en el primer caso que en el segundo. No obstante, si consideramos los trayectos recorridos por el planeta en intervalos de tiempo iguales a partir de dichos puntos, veremos que, en virtud de la mayor velocidad del planeta cuando pasa cerca del Sol, el trayecto recorrido será mayor en este último caso. Las figuras formadas por el radio vector inicial, el radio vector final y la parte de la órbita recorrida tendrán áreas iguales (siempre, claro está, que el tiempo considerado sea igual).

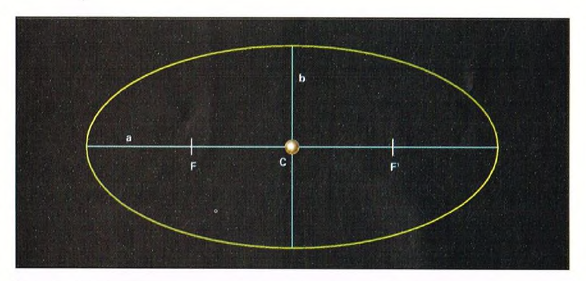
LA TERCERA LEY

La última de las leyes formuladas por Kepler tiene un significado menos intuitivo que las anteriores, pero no por ello es menos importante. En realidad, dicha ley sólo pudo comprenderse plenamente gracias a Isaac Newton, que sistematizó en las leyes de la dinámica las conclusiones a que habían llegado los científicos que lo habían precedido.

La tercera ley establece una propiedad común a todos los planetas del sistema solar; afirma que el cociente entre el cubo del semieje mayor y el cuadrado del período de revolución es el mismo para todos los planetas. El semieje mayor es la mitad de la distancia entre los dos puntos extremos de la elipse, el afelio y el perihelio, mientras que el período de revolución es el

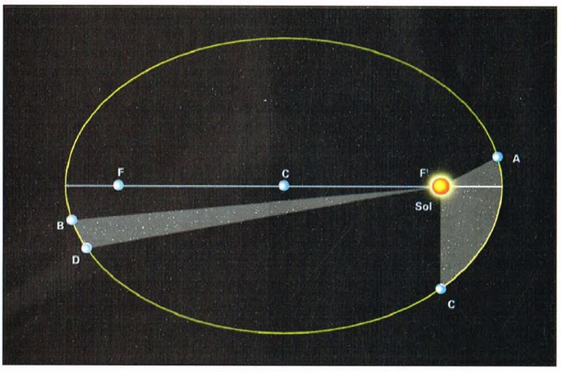


Una elipse es una figura geométrica que se obtiene cortando un cono oblicuamente. Se caracteriza por sus dos semiejes, indicados por a y b, su centro C y sus focos F y F'.

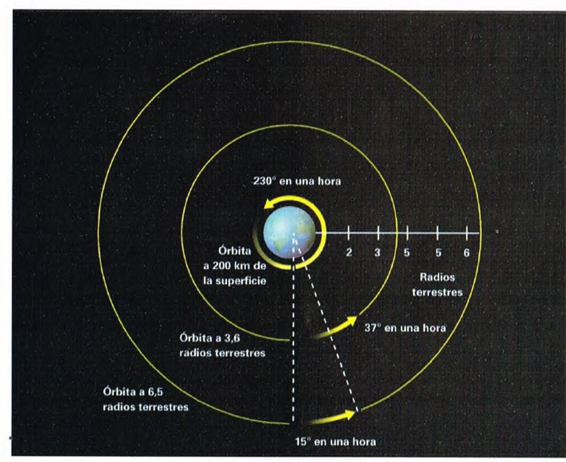


tiempo empleado por el planeta en recorrer una órbita completa. Si llamamos a estas magnitudes a y T, respectivamente, se verificará: a^3/T^2 = constante. Sólo al formularse la ley de la gravitación universal se descubrió que esta constante depende únicamente de la masa del cuerpo atractor, en nuestro caso el Sol. Por ello, es posible aplicar la ley a distintos sistemas, por ejemplo a los satélites de Júpiter, con sólo modificar la constante. Las dos primeras leyes, en cambio, no requieren modificaciones. El comportamiento de los cuatro satélites de Júpiter, descubiertos por Galileo en el año 1610, era descrito también perfectamente por las leyes de Kepler.

Así pues, las leyes de Kepler, que inicialmente se suponían válidas sólo para los planetas observables a simple vista, pueden utilizarse para describir el comportamiento de muchos objetos celestes, en primera aproximación al menos, y quedan englobadas en la casuística más general de la teoría de la gravitación universal. Además, la ley de la gravitación puede deducirse de las tres leyes de Kepler y la tercera ley permite establecer que la atracción gravitatoria entre dos cuerpos decrece al aumentar su distancia mutua; más exactamente, que la fuerza se reduce a una cuarta parte cuando la distancia se dobla, a una novena parte cuando la distancia se triplica, etc.



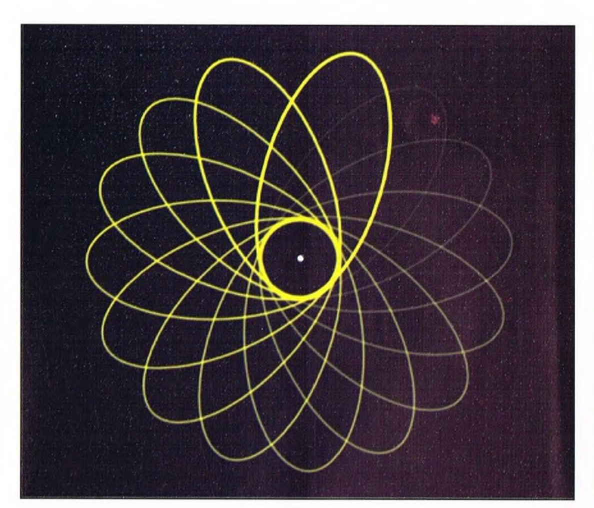
La segunda ley de Kepler afirma que las áreas sombreadas de la figura de la derecha son iguales siempre que lo sean los tiempos empleados en pasar de A a C y de B a D. Dado que las distancias al Sol son menores en A y C que en B y D, el planeta se mueve tanto más rápidamente cuanto más cerca está de nuestro astro.



El movimiento de los satélites artificiales en órbita alrededor de nuestro planeta también está determinado por las leyes de Kepler. En el esquema se representa, entre otros, el movimiento de un satélite que se encuentra a una altitud de 6,5 radios terrestres (unos 36.000 km), el cual recorre cada hora 15 grados de su órbita y completa una órbita entera en 24 horas. Dicha órbita se llama geoestacionaria.

MÁS ALLÁ DE LAS LEYES DE KEPLER

No obstante, la gravitación universal va más allá de las leyes de Kepler, pues permite



El movimiento de Mercurio está descrito por una elipse que gira sobre el plano orbital en vez de cerrarse sobre sí misma. Este comportamiento, que contradice las leyes de Kepler, recibe una correcta explicación por parte de la teoría de la relatividad general.



Júpiter constituyó el primer caso observado de un sistema análogo al solar en que los objetos celestes obedecían a las leyes de Kepler.

establecer la forma más general que puede tener la órbita de un objeto sometido a la fuerza gravitatoria de otro cuerpo. Puede ocurrir, en efecto, que el primero no esté ligado establemente al segundo, sino que el encuentro entre los dos sea sólo temporal, como sucede, por ejemplo, con algunos cometas destinados a pasar una sola vez por las cercanías del Sol y luego a perderse por el espacio interestelar. La forma de las órbitas celestes puede ser cerrada, si el objeto que orbita está destinado a moverse por las proximidades del cuerpo atractor, o abierta, si el primero viene de remotas regiones siderales y está destinado a regresar a ellas. En el primer caso, la órbita será elíptica o circular; en el segundo será hiperbólica o parabólica, según que la trayectoria sea una hipérbola o una parábola.

En realidad, las órbitas de los cuerpos celestes se ven continuamente modificadas por una serie de fenómenos secundarios, entre los cuales figuran la presencia de otros objetos masivos, que en el caso del sistema solar son los demás planetas, así como efectos de marea o también la presencia, como en los cometas, de chorros que actúan como cohetes propulsores.

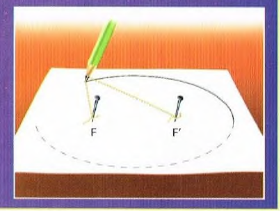
El ulterior desarrollo de las leyes de la gravitación por Albert Einstein en su teoría de la relatividad general ha puesto de manifiesto que los movimientos keplerianos son sólo aproximaciones a los movimientos reales de los objetos celestes, incluso en ausencia de fenómenos más complicados.

Sin embargo, las leyes de Kepler permiten describir con suficiente precisión las órbitas de los planetas del sistema solar. Además, tienen una importancia histórica notable, pues fueron el elemento de ruptura con la descripción del universo debida a Tolomeo que estuvo en vigor durante muchos siglos.



DIBUJAR UNA ELIPSE

En términos técnicos, una elipse es el conjunto de puntos del plano cuya suma de distancias a dos puntos fijos, llamados focos, es constante. Dibujar una elipse es mucho más fácil que explicar qué es. Para ello se utiliza el «método del jardinero», así llamado porque lo emplean los jardineros para preparar parterres elípticos.
Dibujemos dos puntos en una hoja de papel; estos puntos serán los focos de la elipse. Ahora cojamos un cordel más largo que la distancia entre los puntos elegidos y fijemos sus extremos en los focos por medio de agujas. Deslicemos sobre el papel la punta de un lápiz apoyado contra la cuerda de modo que la mantenga tensa. La figura obtenida será una elipse. Los dos trozos de cordel comprendidos entre el lápiz y las agujas representan las distancias de los puntos dibujados a los focos: su suma es constante e igual a la longitud del cordel.



LOS ROVER ESPACIALES

La conquista de los cuerpos celestes ya ha exigido, y lo hará cada vez más, el uso de vehículos. Tres de ellos, cada uno con dos hombres a bordo, han viajado por la Luna. Otros dos rover automáticos han explorado nuestro satélite natural. Ahora, una flotilla de todoterrenos espaciales está explorando también Marte.



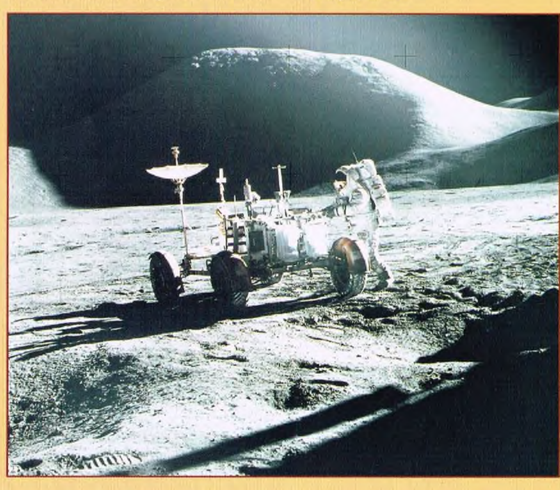
El deseo de explorar cuerpos celestes exteriores a la Tierra ha encontrado una importante ayuda en los rover, vehículos capaces de moverse autónomamente por terrenos accidentados, guiados desde la Tierra o directamente pilotados por hombres, y destinados a recoger y analizar muestras de rocas y suelo, estudiar el medio atravesado y servir como medios de transporte. Por ahora son dos los cuerpos del sistema solar a los que se ha llegado con semejantes vehículos: la Luna y Marte. Para explorar nuestro satélite el hombre ya ha usado cinco vehículos: los tres rover utilizados por los astronautas de los Apollo 15, 16 y 17 para recorrer varios kilómetros desde el punto de alunizaje del LEM, y dos vehículos automáticos, los Lunajod 1 y 2, que los soviéticos guiaron a distancia a lo largo de algunos kilómetros y durante varios meses sobre la superficie lunar. A Marte, los estadounidenses han llegado con Mars Pathfinder, un pequeño rover que incorpora nuevas tecnologías para la exploración detallada del planeta rojo.

LOS ROVER DEL APOLLO

Después del primer contacto físico entre el hombre y nuestro satélite natural, los estadounidenses decidieron explorar al máximo la superficie lunar para traer a la Tierra la mayor cantidad posible de muestras rocosas. Para ello, se encomendó una tarea extremadamente importante a un vehículo especial, el Lunar Roving Vehicle (LRV), que ha pasado a la historia como jeep lunar pese a sus notables diferencias con los todoterrenos terrestres. El LRV, el automóvil más caro jamás construido (para realizar los 8 prototipos y los 3 modelos de vuelo se gastaron entonces más de 120 millones de pesetas), permitió a los astronautas de los Apollo 15, 16 y 17 recorrer un total de 90 km por el suelo lunar.

El contrato para la realización del LRV lo obtuvo Boeing en 1969. El modelo que llegó a la Luna fue un perfeccionamiento de otros modelos que se abandonaron: el Molab (Mobile Lunar Laboratory) y el LSSM (Lunar Scientific Survey Module). El primero era un auténtico laboratorio lunar que debía posarse con antelación en el suelo de nuestro satélite; luego, habrían debido habitarlo dos astronautas, que tendrían que haber vivido en su interior durante dos semanas y recorrer sobre sus seis ruedas más de 400 km. El LSSM, en cambio, era una astronave abierta; podía albergar a un solo astronauta y moverse a 18 km/h, permitiéndole explorar unos 500 km^2 de superficie. El vehículo que finalmente se realizó, el LRV, era sólo aparentemente más simple, tal vez debido a su forma más corriente. En la Tierra pesaba 209,6 kg, pero en la Luna sólo 35. Podía transportar hasta 517 kg de material entre astronautas, equipos y muestras recogidas. El vehículo tenía una longitud de 3,1 m, una anchura de 1,8 m y una distancia entre las ruedas de 2,3 m. Su altura sobre el suelo era de 35,5 cm y tenía un radio de giro de sólo 3 m. Una de sus características más extrañas eran las ruedas, que se hicieron de aluminio y titanio; estaban recubiertas de hilos similares a cuerdas de piano, galvanizados y trenzados para conferirles una altísima resistencia y una capacidad de amortiguamiento de los choques. Cada rueda pesaba 5,4 kg. Gracias a estas características, el rover podía franquear masas de hasta 30 cm de altura y atravesar eventuales fracturas del terreno de 70 cm. Podía además subir y bajar pendientes de 25 grados y estacionarse en pendientes de 35 grados. El rover se guiaba mediante una

El astronauta Irwin en el suelo lunar junto a un rover. Se trata de la misión Apollo 15, iniciada el 26 de julio de 1971.



Antena de alta ganancia

Antena de baja ganancia

Panel de instrumentos

Telecámara

Cámara de cine de 16 mm

Recipientes para la recogida de muestras

Palanca de mando

Repetidor de radio

Contenedores para material científico y equipos

Protecciones contra el polvo

Cajones debajo de los asientos

Neumáticos de armadura metálica

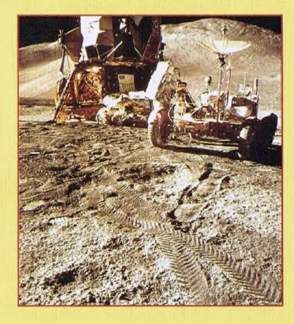
Esquema de un rover lunar estadounidense utilizado en el curso de las misiones Apollo. Con estos vehículos, los astronautas pudieron explorar amplias zonas de la superficie de nuestro satélite.

pequeña palanca situada encima de una consola central. Podía ir hacia delante y hacia atrás a velocidad variable. Muchos instrumentos figuraban por pares; por ejemplo, había dos baterías, aunque bastaba una sola para mover el vehículo. El rover podía girar con las ruedas anteriores y con las posteriores; estas últimas debían emplearse en caso de avería de las primeras. Precisamente durante el primer viaje del Apollo 15, el sistema de giro anterior sufrió una avería y los astronautas utilizaron el posterior hasta que el sistema principal volvió a la normalidad. Los astronautas podían acelerar el automóvil hasta una velocidad de 13 km/h en superficies llanas.
El vehículo iba alimentado por dos baterías recargables con 25 pilas de cinc-plata, que suministraban 36 voltios y 126 amperios-hora. Estas baterías brindaban una autonomía de 78 horas y permitían recorrer un total de 91 km. El rover lunar iba provisto de una antena de alta ganancia y de otra de baja, de una telecámara, de una cámara de cine de 16 mm, de recipientes para la recogida de muestras, de contenedores para los instrumentos y de un repetidor de radio. La telecámara, que podía manejarse desde la Tierra, permitía vivir en directo las experiencias de los astronautas. Pese a la complejidad del proyecto, los rover estuvieron listos menos de 17 meses después de la firma del contrato. Piénsese, a modo de comparación, que el proyecto de trajes espaciales exigió 60 meses; el del LEM, 66, y el de los sistemas de supervivencia, 72.

Otra vez Irwin durante la misión Apollo 15. Son perfectamente visibles en primer plano las huellas de los neumáticos del rover, que en la Luna no se borran porque no hay agentes atmosféricos.

LAS MISIONES

Scott e Irwin inauguraron el rover durante la misión Apollo 15, entre finales de julio y principios de agosto de 1971. Ya durante el primer recorrido por las cercanías del acantilado de Hadley, los astronautas se alejaron a más de 4 km del LEM y

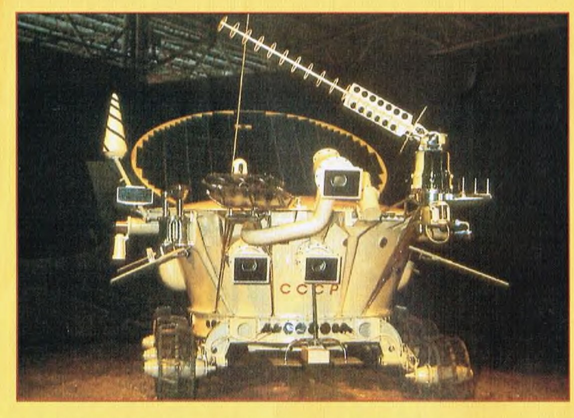


regresaron menos cansados que los astronautas de los vuelos precedentes, que habían recorrido a pie unos pocos cientos de metros. Durante las tres salidas, los astronautas recorrieron 27 km y recogieron 77,1 kg de rocas. La velocidad media del rover fue de 9,2 km/h con puntas máximas de 14 km/h.

En la segunda misión, el LRV estuvo activo entre el 21 y el 23 de abril de 1972. Young y Duke exploraron los alrededores del cráter Descartes. En total, gracias a la experiencia del vuelo precedente, los dos astronautas recorrieron 27,1 km durante 3 horas y 26 minutos y batieron el récord de velocidad lunar: 17 km/h.

La tercera misión con un rover totalizó 4 horas y 27 minutos de actividad lunar. Se recorrieron 36,1 km y la velocidad máxima fue de 18 km/h.

Cernan, piloto del rover del Apollo 17, declaró lo siguiente antes de abandonar definitivamente el rover a un centenar de metros del LEM: «Ha sido el mejor vehículo que he tenido la ocasión de conducir». La telecámara del rover filmó la partida del LEM de la superficie lunar: fue un espectáculo de inolvidable belleza.



Fotografía de un vehículo soviético Lunajod utilizado durante las misiones Lunik 17 de 1970 y Lunik 21 de 1973. El Lunajod podía moverse por la superficie lunar a una velocidad de unos 100 m/h.

EL LUNAJOD

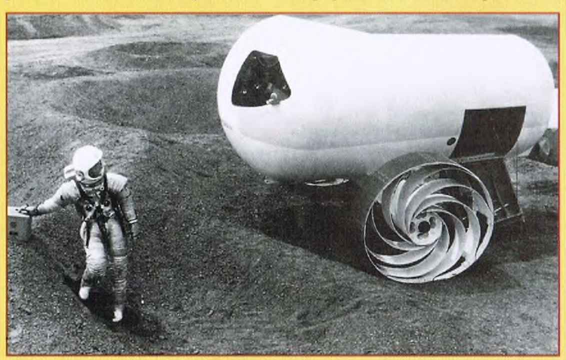
De hecho, el primer vehículo capaz de desplazarse por la Luna alunizó unos años antes que los rover y procedía de la Unión Soviética. El 17 de noviembre de 1970, se lanzó el Lunik 17 con la misión de depositar un automóvil automático para explorar varios puntos del suelo lunar.

A las 7.28 del 17 de noviembre, después de un suave descenso sobre el Mar de las Lluvias a las 4.47, se hizo bajar por una escalerilla el primer robot lunar, denominado Lunajod 1, de 756 kg de peso. Provisto de 8 ruedas independientes accionadas por motores eléctricos, el Lunajod recorrió cerca de 10,5 km y permaneció activo durante unos 10 meses. Su velocidad de desplazamiento alcanzó los 100 m/h.

La energía para el funcionamiento la suministraban unos paneles de células solares que tapizaban una gran cubierta situada sobre el chasis del vehículo. Por la noche, el panel térmico de protección permanecía cerrado y cubría el módulo de exploración, mientras que el aire que se hacía circular por el interior, calentado por un pequeño reactor nuclear de polonio, lo mantenía a una temperatura suficientemente alta. El Lunajod tenía una longitud total de 2,21 m y llevaba a bordo dos telecámaras que obtenían imágenes estereoscópicas. Las imágenes permitían a los técnicos de la Tierra dar instrucciones al Lunajod para que evitase obstáculos capaces de impedir su marcha. El 8 de enero de 1973, los soviéticos depositaron un segundo robot lunar, de 840 kg de peso. Permaneció activo durante 4 meses, recorrió unos 37 km y exploró la zona del cráter Le Monnier. La misión terminó de improviso a causa de una avería que no se pudo reparar.

ROVER HACIA LOS PLANETAS

La experiencia obtenida con estos todoterrenos ha permitido iniciar la construcción de vehículos robotizados capaces de llegar hasta los planetas del sistema solar y explorarlos sin poner necesariamente en peligro vidas humanas. El primero de estos vehículos capaces de moverse y bajar hasta los cuerpos celestes ha sido el Sojourner. Este pequeño rover, de sólo 17,5 kg de peso, es un concentrado elevadísimo de tecnología. Su importancia reside en el hecho de que no sólo ha permitido un amplio estudio del planeta rojo, sino que también ha comprobado en qué medida los vehículos robotizados pueden revelar los misterios geológicos todavía ocultos en los cuerpos del sistema solar.



Prototipo de laboratorio móvil destinado a la exploración de la Luna. Puede funcionar como medio de transporte o como base temporal para los astronautas.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

AFICIONADOS, PERO NO TANTO...

ESTRELLAS Y GALAXIAS

LOS CÚMULOS DE GALAXIAS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

CABELLERA DE BERENICE

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

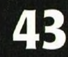
EL PROYECTO GEMINI

EL USO DEL ESPACIO

SALYUT: EL PRIMER LABORATORIO ESPACIAL

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO





PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

AFICIONADOS, PERO NO TANTO...

Cometas, asteroides, observaciones planetarias, ocultaciones lunares: éstos son los campos en los que incluso los astrónomos aficionados pueden contribuir a la mejora de los conocimientos sobre los fenómenos celestes de nuestro sistema solar.



La astronomía es una ciencia: esto no lo duda nadie. Sin embargo, en ciertos aspectos, es una ciencia «especial» a la que pueden contribuir de manera significativa incluso personas que no tienen esta disciplina como trabajo habitual, pero que a simple vista o con sus propios instrumentos gustan de observar el cielo y los fenómenos que en él ocurren. Se trata de los astrónomos aficionados, que pasan largas noches sin dormir, con los ojos pegados a los prismáticos o al ocular de un telescopio.

A diferencia de lo que podría pensarse, la astronomía no se hace sólo con telescopios de varios metros de diámetro o con el telescopio espacial; tampoco con los instrumentos instalados a bordo de los satélites.

Estas máquinas extraordinarias pueden contarse con los dedos de la mano y su coste es tan elevado que necesariamente han de emplearse para observaciones específicas que aprovechen al máximo sus posibilidades. Es evidente que sólo con los grandes telescopios pueden estudiarse las débiles galaxias que pueblan el universo más lejano y que, únicamente gracias a los satélites, es posible efectuar mediciones y observaciones en ciertas partes del espectro electromagnético inaccesibles desde tierra, como el ultravioleta, los rayos X o los rayos gamma. Pero las observaciones continuadas de objetos relativamente luminosos y próximos, o la búsqueda de astros imprevisibles, como los cometas, las efectúan en gran parte los aficionados.

A toda página, el cometa Hyakutake, aparecido en el firmamento en la primavera de 1996. Su descubridor fue un astrónomo aficionado japonés.



Arriba, fotografía del planeta Venus. El único detalle observable es su fase.

UN TRABAJO PRECIOSO

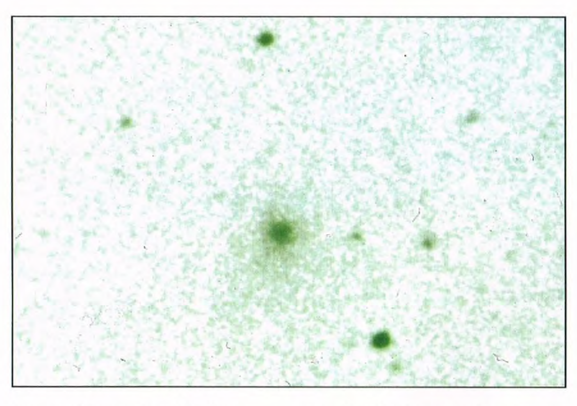
Hay un amplio margen de acción para las observaciones que requieren una gran asiduidad y paciencia, virtudes necesarias para cualquier buen aficionado, ya que resulta impensable que un telescopio de grandes dimensiones apunte a un planeta como Júpiter, por ejemplo, simplemente para estudiar las variaciones de su aspecto. En términos de tiempo y de recursos tecnológicos, el coste de una observación de este tipo es demasiado alto, por lo que tales instrumentos se emplean para los objetos próximos, como los planetas, sólo en ocasión de acontecimientos especiales y previsibles. Un buen ejemplo sería la caída del cometa Shoemaker-Levy sobre Júpiter, ocurrida en 1994. Entonces, incluso el telescopio espacial Hubble se empleó para seguir el acontecimiento, sin precedente alguno en la historia de la astronomía moderna.

Por tanto, las observaciones continuadas han de correr a cargo de los aficionados, aunque no dispongan de instrumentos de gran abertura. Pueden mantener bajo control planetas como

LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Un ejemplo de la cooperación entre astrónomos profesionales y aficionados a la astronomía es la revista de divulgación *Sky and Telescope*, de la cual hubo hace años una versión castellana con el nombre de *Cosmos*. Su historia arranca en Delaware en 1931. El Observatorio Perkins, de la Wesleyan University, empezó a publicar la revista *The Telescope* para divulgar los avances en las investigaciones astronómicas. Dos años más tarde, se encargó su edición a la Bond Amateur Association, con sede cerca del Observatorio de Harvard, y se amplió el contenido de la revista.
The Telescope se publicó hasta 1941, año en que se fusionó con otra revista de divulgación, *The Sky*, editada por la Amateur Astronomes Association y por el Hayden Planetarium. La nueva publicación pasó a llamarse *Sky and Telescope* y de su edición se hizo cargo el Harvard College Observatory. Desde hace décadas, esta revista sirve de nexo entre los miles de aficionados a la astronomía y los profesionales de este campo, quienes utilizan esta vía para divulgar sus investigaciones fuera de su reducido y especializado ámbito.

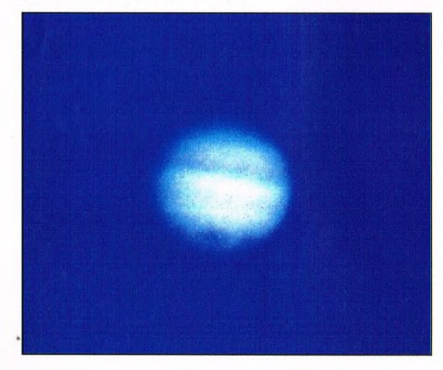
Marte, Júpiter y Saturno, y verificar si ocurren en ellos fenómenos imprevistos, debidos, por ejemplo, a la circulación atmosférica.



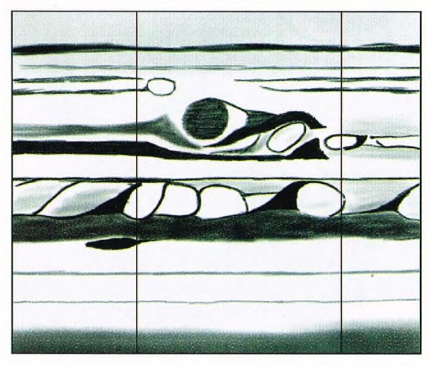
Fotografía del cometa Zanotta-Brewington, descubierto en 1991 por dos aficionados, uno italiano y otro estadounidense.

EL COMETA ZANOTTA-BREWINGTON

Por antonomasia, un sector que se reserva casi enteramente a los astrónomos no profesionales es el de la búsqueda de nuevos cometas. Los aficionados expertos se dedican a estas sesiones de observación durante las dos horas que siguen al ocaso y las dos que preceden al alba, observando las regiones celestes que se hallan dentro de los 60 grados alrededor del Sol. Estadísticamente, en estas zonas es donde mayores probabilidades hay de descubrir un cometa. En la parte norte de la constelación del Delfín, la noche del 23 de diciembre de 1991 se localizó un astro de aspecto difuso, no consignado en los atlas celestes, de magnitud 10 aproximadamente: se trataba de un nuevo cometa que recibió el nombre de Zanotta-Brewington III, dado que en las mismas horas, y de manera absolutamente independiente, fue observado por dos aficionados: el estadounidense H.J. Brewington y el italiano Mauro Vittorio Zanotta. En las semanas siguientes, el cometa alcanzó la magnitud 7. El instrumento utilizado por el italiano era un telescopio de 15 cm de diámetro y 75 cm de distancia focal, con un ocular aplicado de 25 aumentos. El telescopio llevaba un tipo de

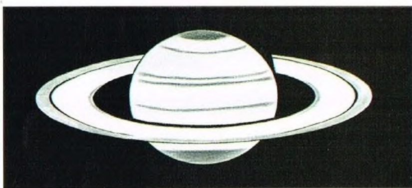


Con un telescopio pequeño también es posible observar las bandas atmosféricas horizontales que atraviesan el disco del planeta Júpiter.



Dibujo con algunos detalles de la atmósfera de Júpiter, realizado por un aficionado. La observación asidua permite descubrir detalles que pasan inadvertidos en una primera ojeada hecha a la ligera.





En las fotografías de Saturno hechas por aficionados, como la de la izquierda, se aprecian, además de los anillos, bandas atmosféricas como las de Júpiter.

El aspecto cambiante de un planeta como Saturno se registra en un dibujo como el de arriba. Se marcan las bandas principales, alternativamente claras y oscuras, debidas a la atmósfera.

montura llamado «altacimutal», que sólo permite movimientos en vertical y en horizontal, y posibilita en este tipo de búsquedas la exploración sistemática del cielo en franjas horizontales, paralelas al horizonte.

CONSEJOS PARA DESCUBRIR COMETAS

Para la «caza» de cometas, los instrumentos más aconsejables son los que permiten disponer de un campo muy grande, al menos de 2 o 3 grados si se observa visualmente, y de 10 grados si las observaciones son fotográficas. También es conveniente emplear oculares de pocos aumentos (los mejores son los de 20 a 40), o bien, si se hacen fotografías, objetivos de distancia focal comprendida entre 135 y 300 mm. En caso de un presunto descubrimiento, es necesario enviar inmediatamente un telegrama o un fax al Central Bureau for Astronomical Telegrams del Harvard Smithsonian Observatory, que se ocupa de la atribución oficial del nombre del astro. Sin embargo, no hay que pensar que descubrir un nuevo cometa sea una empresa fácil: son necesarias grandes dosis de paciencia y de constancia; a menudo, centenares de horas de incansables observaciones no conducen a ningún resultado concreto.

LAS OBSERVACIONES DE LOS PLANETAS

Como se ha dicho, un campo muy importante para el trabajo de los

En las fotografías del firmamento con una exposición larga, en ocasiones puede advertirse algo que se mueve y deja una estela. La mayoría de las veces se trata de un asteroide, que puede ser identificado gracias a estas fotografías.



FICHA PARA LA OBSERVACIÓN DE LOS PLANETAS

Para las observaciones de los planetas Marte, Júpiter y Saturno, los aficionados pueden utilizar unas fichas, preparadas por varias entidades, que permiten organizar los datos de manera homogénea y facilitar su uso con finalidades científicas. Abajo se reproduce la que se emplea para Saturno. Hay que rellenarla con cuidado, indicando, entre otros datos, la fecha, el lugar de la observación, el instrumento empleado y sus características. Lo que se ve del planeta y sus anillos se reproduce dibujándolo. Para ello se toma como base la estructura ya impresa.

Year____ Month____ Day____
n°____ Obs____
Loc____ U.T.____
Instr____ A____
F/____ Enl (Ritt)____
S____ T____ C____

Notes

	Int	Colour
Ring A		
Cassini Div.		
Ring B out		
Ring B inn		
Ring C		
Rings A.B cross Gl		
Ring C cross Gl		
Sh R on Gl		
Sh Gl on R		
SPR		
SSTZ		
STB		
STZ		

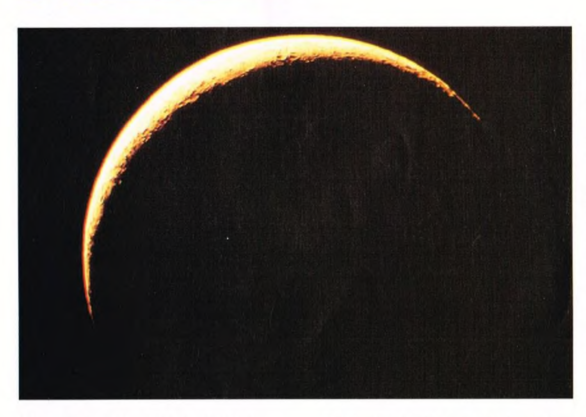
	Int	Colour
SEBs		
SIZ		
SEBn		
EZ		
EB		
NEBs		
NIZ		
NEBn		
NTZ		
NTB		
NNTZ		
NPR		

	S.e.	N.e.
SPR		
STB		
SEBs		
SEBn		
EB		
NEBs		
NEBn		
NTB		
NPR		

Intensities

B 24°

U.T.____ S.____



Fotografía de una finísima «hoz» de la Luna, realizada por un aficionado. No es conveniente fotografiar la Luna llena, ya que los detalles de su superficie se ven mejor en la zona de transición entre luz y sombra.

aficionados es el de las observaciones planetarias.

Los planetas que se prestan a ser observados son Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. Los dos primeros no presentan características muy significativas fuera de sus fases, similares a las de la Luna, observables cuando estos planetas se encuentran entre nosotros y el Sol. En cambio, la observación de los otros tres planetas es mucho más interesante y científicamente más significativa.

En Marte es posible seguir, incluso con un telescopio pequeño, el comportamiento estacional de los casquetes polares, cuyas dimensiones aumentan en los meses invernales para disminuir nuevamente en la estación estival (naturalmente, hablamos de estaciones marcianas). En algunos casos es posible observar también las diferencias morfológicas de la superficie del planeta ocasionadas por las grandes tempestades de polvo que periódicamente desencadenan los violentísimos vientos marcianos.

En cuanto a Júpiter y Saturno, planetas en los que prevalecen los gases, son muchas las características que hay que mantener bajo control. El aspecto de las nubes de estos planetas cambia en el tiempo, y poder seguir sus mutaciones a lo largo de períodos dilatados permite comprender mejor los movimientos en torbellino que allí se producen. La Gran Mancha Roja de Júpiter es uno de los detalles más conocidos y más fácilmente observables. Se trata de un enorme ciclón que gira sobre sí mismo, presente en el planeta desde hace más de cuatro siglos.

LAS OCULTACIONES LUNARES

Se habla de ocultación lunar cuando el disco de nuestro satélite se desplaza por delante de una estrella y la esconde temporalmente a nuestra vista. Se trata, claro está, de un efecto de perspectiva, ya que la Luna, el cuerpo celeste más próximo a la Tierra, durante su movimiento alrededor de nuestro planeta puede pasar por delante de una estrella bastante brillante situada mucho más lejos en la misma dirección del firmamento.

Cuando se produce uno de estos acontecimientos, es importante registrar sus características, especialmente el instante exacto en que ocurre. Para ello, hay que disponer de un reloj muy preciso, sintonizado a la hora exacta. Para esta sintonía se utilizan las señales horarias emitidas por las respectivas emisoras de radio.

Una vez efectuada la sincronización, se medirá el instante exacto en que la estrella objeto del fenómeno es ocultada por el disco lunar, y luego el instante en que vuelve a emerger por la parte opuesta. También el conocimiento preciso de las coordenadas geográficas del lugar desde el que se efectúa la observación permitirá su uso para diversos objetivos científicos: por una parte, mejorar el conocimiento de la órbita de la Luna, elíptica en una primera aproximación, pero que, en realidad, acusa la influencia de diversos factores que le producen unas alteraciones mínimas. Por otra parte, mediante las ocultaciones, es posible reconstruir con precisión el perfil tridimensional del borde lunar, sus montañas y sus depresiones.

La observación de más de 60.000 ocultaciones ha motivado sensibles correcciones en el recorrido que nuestro satélite efectúa alrededor de la Tierra, y más del 85% de tales observaciones proceden de aficionados.

NUEVOS ASTEROIDES

También los asteroides, unos cuerpos rocosos de forma irregular situados en su

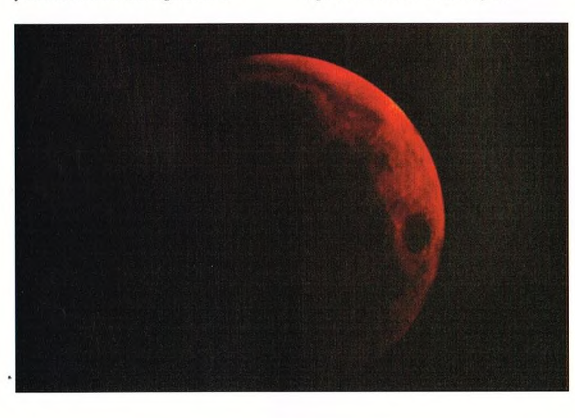
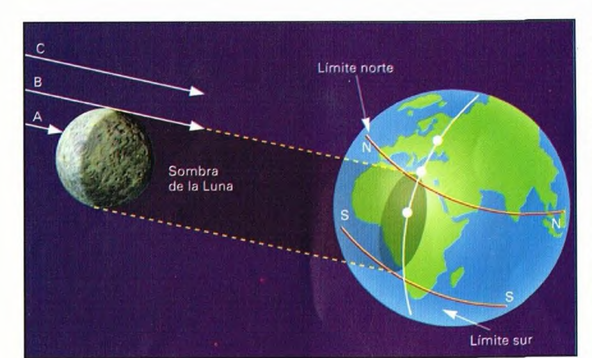


Imagen del eclipse de Luna del 27 de septiembre de 1996. Durante este fenómeno, nuestro satélite aparece muy enrojecido por la refracción de la luz solar debida a la atmósfera terrestre.

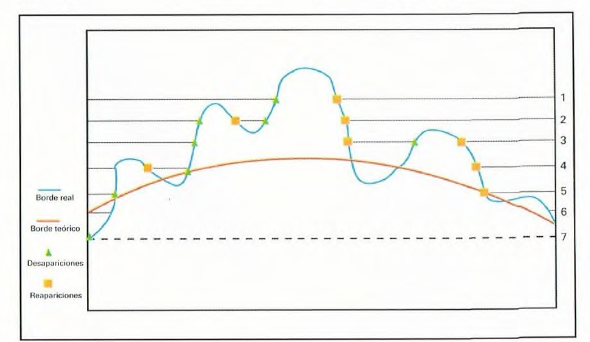


Esquema de la geometría de una ocultación lunar. La luz de la estrella queda oculta por el disco de nuestro satélite a la vista de los habitantes de una región terrestre bien delimitada. En los bordes, esta ocultación parece rasante, es decir, la estrella parece rozar el disco de la Luna.

mayor parte entre las órbitas de Marte y Júpiter, constituyen uno de los puntos fuertes de las observaciones de los aficionados. Se trata de cuerpos muy numerosos, muchos de los cuales todavía esperan ser descubiertos. Para dar una idea de la magnitud del fenómeno, piénsese que los aficionados descubren cada año centenares de asteroides. Por tanto, gracias a la posibilidad que tienen hoy los aficionados de efectuar observaciones fotográficas con cámaras CCD, muy sensibles, el trabajo resulta mucho más fácil. Es necesario tomar dos imágenes de la misma región del firmamento (en general, la opuesta al Sol, que es donde estos elementos alcanzan la máxima luminosidad), con un lapso intermedio de al menos media hora. Comparando luego ambas imágenes, es posible ver si hay cuerpos que se han desplazado. De ser así, es muy probable que se trate de asteroides. En tal caso, habrá que comprobar en las horas siguientes la posición del objeto y comunicar el descubrimiento al Minor Planet Center de Cambridge (Estados Unidos), una institución dedicada a la recogida de datos sobre este campo. Se calcula entonces la órbita aproximada y al cabo de algunas semanas puede llegarse a la certidumbre razonable de que se trata de un objeto nuevo y no de uno ya catalogado. Llegado este momento, se le asigna una sigla provisional. Cuando el descubridor lo haya observado durante cinco oposiciones sucesivas (es decir, cinco pases en dirección opuesta al Sol) tendrá derecho a darle un nombre de su elección.

Por tanto, a empuñar los instrumentos y... ¡buenas observaciones!

La observación cuidadosa de una ocultación rasante permite reconstruir el perfil de las montañas lunares a partir de las desapariciones y reapariciones de la estrella ocultada.



AFICIONADOS CÉLEBRES

Muchos aficionados a la astronomía ocupan un lugar muy importante en los anales de este campo.

Uno de los más destacados es William Herschel, famoso por el descubrimiento de Urano. Alemán de nacimiento, fue un buen músico y un excelente y entusiasta aficionado a la astronomía. Construyó más de un centenar de espejos para telescopios, de gran calidad. En 1786 construyó el mayor telescopio de la época, de 1,40 m de diámetro. Son famosos sus estudios sobre estrellas dobles, nebulosas y galaxias. Además de Urano, descubrió sus satélites Titania y Oberón, así como Mimas y Encelado, lunas de Saturno.

Otro nombre célebre es el de Percival Lowell, entusiasta del planeta rojo. A los 37 años renunció a su prometedora carrera diplomática para fundar un observatorio astronómico en Flagstaff (Arizona). Junto con A.E. Douglas y W.H. Pickering, inició sus famosas observaciones de Marte, de cuya superficie realizó mapas detallados. Sus elucubraciones sobre hipotéticos canales marcianos, desmentidas posteriormente por Antoniadi y Cerulli, le proporcionaron fama mundial. Sus investigaciones posteriores llevaron a su equipo de Flagstaff al descubrimiento de Plutón años después de su muerte.

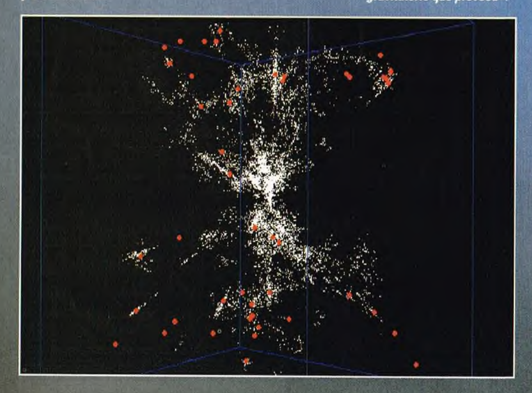
Camille Flammarion ha pasado a la historia de la astronomía por su papel como divulgador. Sus libros han hecho soñar a generaciones de jóvenes astrónomos. Autodidacto y gran apasionado de los cielos estrellados, llegó fortuitamente al Observatorio de París y trabajó a las órdenes de Le Verrier, el descubridor de Neptuno. Tras la publicación de *La pluralidad de los mundos habitados*, pasó al Bureau des Longitudes. Publicó unas sesenta obras, que tuvieron mucho éxito, la más conocida de las cuales es *Astronomía popular*. Es asimismo recordado por la construcción de un observatorio astronómico en la villa de Juvisy, cerca de París, y por la fundación de la Societé Astronomique de France. Murió, cómo no, en su apreciado observatorio, el 3 de junio de 1925.

LOS CÚMULOS DE GALAXIAS

Los cúmulos incluyen solamente el 5% de las galaxias que se observan en el universo, pero son los mayores sistemas de galaxias en equilibrio dinámico. Su morfología y su luminosidad, tanto en el espectro visible como en rayos X, hace que sean los objetos que mejor se observan a distancias cosmológicas.

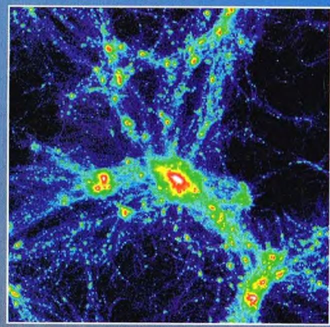
Los cúmulos de galaxias son las mayores estructuras organizadas del universo observable. Están formados por cientos, e incluso miles, de galaxias dispuestas en un espacio más o menos esférico, con un diámetro típico de unos 10^{22} m, que corresponde, en unidades de medida más adecuadas a la cosmología, a un Megaparsec (Mpc), o un millón de parsecs (1 parsec = 3,26 a.l.). Nuestra Galaxia, la Vía Láctea, no está situada en un cúmulo, sino que forma parte de un pequeño grupo de varias decenas de galaxias llamado Grupo Local. La galaxia más próxima similar a la nuestra es la nebulosa de Andrómeda, a una distancia de dos millones de años luz. En el mismo espacio que nos separa de Andrómeda, en el centro de un cúmulo, hay, en cambio, decenas de galaxias tan brillantes como nuestra Vía Láctea, y a veces más.

Los ordenadores pueden hacer evolucionar artificialmente el gas y las estrellas una vez fijadas las condiciones iniciales (a la derecha). La potencia de cálculo es enorme, y hoy se pueden seguir los destinos de universos simulados en sus componentes de estrellas –luminosas en las radiaciones visibles–, en el gas caliente –que se observa mejor en rayos X– y en la materia oscura –invisible en cualquier longitud de onda, pero detectable por el efecto gravitatorio que provoca–.



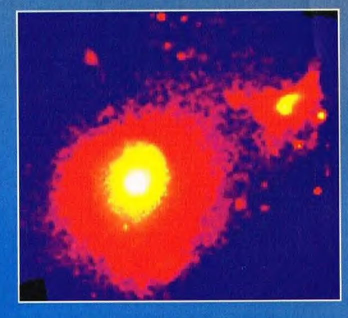
«MARCADORES» ÚTILES

El Grupo Local está en la periferia extrema del cúmulo de Virgo, aproximadamente a una distancia de 15 Mpc de nosotros. Es identificable como una gran concentración de galaxias en dirección a la constelación de Virgo. El primer astrónomo que advirtió esta gran estructura fue Charles Messier mientras compilaba su famoso catálogo. Como por entonces no se conocía la naturaleza de las nebulosas, la cuestión pronto quedó olvidada, y sólo después del apasionado debate sobre los «universos-isla» entre Shapley y Curtis, resuelto por Edwin Hubble en los años veinte, se planteó el problema de la distribución de estrellas y galaxias en el universo. Hoy, los cúmulos de galaxias se utilizan como «marcadores» que indican la distribución a gran escala de la materia en el universo. Los trabajos necesarios para su identificación empezaron seriamente en 1958 con el catálogo de cúmulos publicado por el astrónomo estadounidense Abell. En los años sesenta también Zwicky y sus colaboradores compilaron un catálogo de posiciones y de magnitudes de galaxias y cúmulos de galaxias, pero el catálogo de Abell, elaborado con criterios más objetivos, todavía se sigue utilizando. Recientemente, un grupo de astrónomos, que había colaborado con Abell, ha completado la lista de los cúmulos, catalogando los que son visibles en el hemisferio sur. Esto ha dado un conjunto de millares de objetos.



Para las mediciones de las distancias a muchas galaxias se emplean los grandes telescopios modernos. La medición se efectúa mediante la observación del redshift, *o desplazamiento al rojo, que, según la ley de Hubble, se traduce en distancia. En la ilustración de la izquierda se reproducen en blanco las galaxias del CfA Redshift Survey, junto con los puntos rojos de los cúmulos del catálogo de Abell. Muchos puntos rojos están superpuestos a las estructuras lineales de galaxias llamadas «los dedos de Dios». Se trata de un fenómeno esporádico debido a que al* redshift *del cúmulo se superpone la velocidad orbital de cada galaxia en su interior. El resultado son muchos «dedos» que apuntan al centro en que está situada la Tierra con nosotros, los observadores.*





El cúmulo de Virgo es el más próximo a la Tierra y es también el centro del Supercúmulo Local. Se trata de un cúmulo relativamente rico en galaxias espirales y es de tipo irregular. Por tanto, podría tratarse de un cúmulo de formación reciente que todavía ha de alcanzar su equilibrio dinámico. En las dos imágenes de la izquierda se ve el centro, observado con un telescopio desde la Tierra, y la emisión a las longitudes de onda de los rayos X, debida al gas caliente.

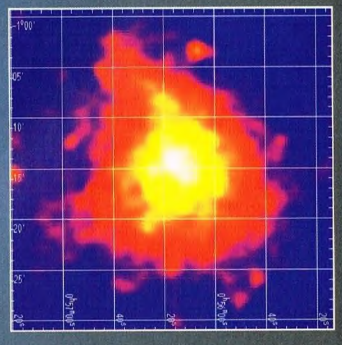
ENORMES E INESTABLES

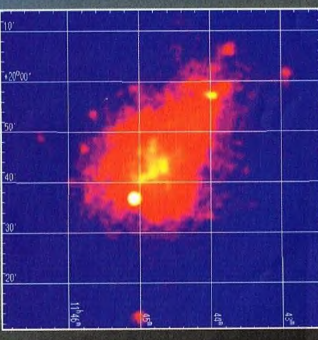
Dadas sus dimensiones, los cúmulos de galaxias son estructuras tan enormes que no todos los que se han observado han terminado su fase de formación hacia una configuración estable. En otras palabras, muchos objetos de este tipo todavía no han conseguido su equilibrio dinámico, por lo que su forma todavía variará, naturalmente dentro de una escala de tiempos medidos en miles de millones de años. De acuerdo con esta aparente diversidad de formas, los astrónomos han hecho una clasificación de los cúmulos de galaxias que recorre una línea de posible evolución que, partiendo de los cúmulos irregulares (presumiblemente más jóvenes), llega a los regulares, con una densidad central de galaxias muy elevada y de forma esferoidal (quizá se trata de los más viejos, que no sufrirán modificaciones en su morfología a menos que tengan encuentros con otros grandes cúmulos).

UNA HISTORIA CONJUNTA

La historia de la formación de los cúmulos está indisolublemente ligada a la de las galaxias que los forman. Los diversos escenarios propuestos por los teóricos para la evolución de las estructuras visibles del universo (que definen y estudian como «perturbaciones de densidad de materia») permiten actualmente pensar en dos posibles secuencias de desarrollo distinto. Según la primera, los cúmulos se formaron originariamente hace varios miles de millones de años atrayendo materia por su propia fuerza de gravedad. Seguidamente, la enorme cantidad de materia presente en estas concentraciones se fue dividiendo, fragmentándose en innumerables «pequeñas» islas que pasaron a ser galaxias cuando las estrellas empezaron a «encenderse». Esta hipótesis de fragmentaciones originarias tuvo éxito en las teorías que pueden explicar las observaciones realizadas, pero hoy va cediendo el paso a la hipótesis contraria, que podríamos llamar teoría de las agregaciones. Este modelo teórico supone que las primeras estructuras que se formaron fueron aglomerados de materia, del tamaño aproximado de un cúmulo globular, suficiente para la formación de un millón de estrellas. Las simulaciones efectuadas con ordenador han permitido recrear universos virtuales con características similares a las del universo observado.

La mayor dificultad estriba precisamente en la comparación entre modelos y realidad: teniendo en cuenta ciertas características iniciales, pueden formarse infinitos universos posibles, todos con características análogas que pueden medirse mediante observaciones, entre ellas la densidad de las galaxias, su forma, su tendencia a agruparse, etc.





La emisión de rayos X de los cúmulos puede presentar diferentes morfologías. El cúmulo Abell 119 muestra una componente muy fuerte debida al gas difundido por todo el cúmulo. Las desviaciones de la forma esférica son muy tenues. Por el contrario, en el cúmulo 1367 del catálogo de Abell, la componente más brillante es una sola galaxia. La forma de la emisión X del gas caliente intergaláctico es más irregular y presenta muchas fuentes secundarias.

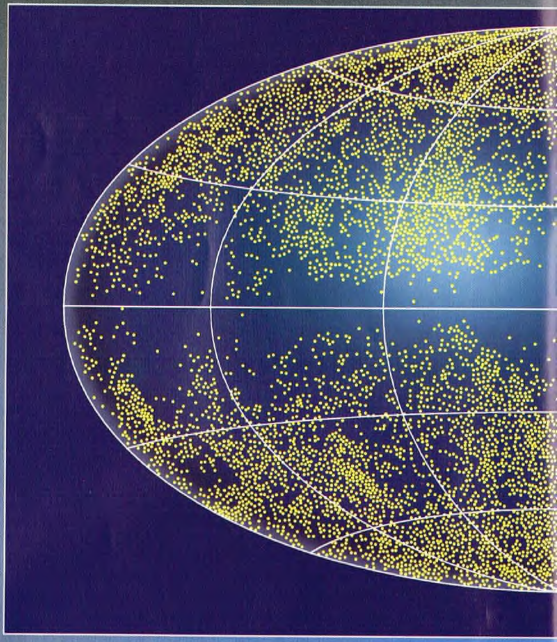
De todas maneras, cada universo será distinto de otro. Por ejemplo, uno de ellos podría ser idéntico al nuestro, pero tener la galaxia de Andrómeda mucho más pequeña de como la observamos; o bien podría ocurrir que, haciendo las observaciones desde un planeta situado muy cerca del centro galáctico, el cielo estuviese tan poblado de estrellas que impidiera ver ninguna galaxia externa a la nuestra.

Por tanto, la labor de los investigadores consiste en comparar el único universo real con los modelos ficticios creados a partir de los cálculos. En cierto sentido, es como si intentáramos comprender hacia dónde estamos mirando a través del pequeño ojo de buey de una nave mientras permanecemos atados al asiento de la cabina sin saber en qué parte de la nave nos encontramos (y, naturalmente, sin intentar averiguar cómo y por qué estamos atados a la silla de lo que pensamos que es una nave).







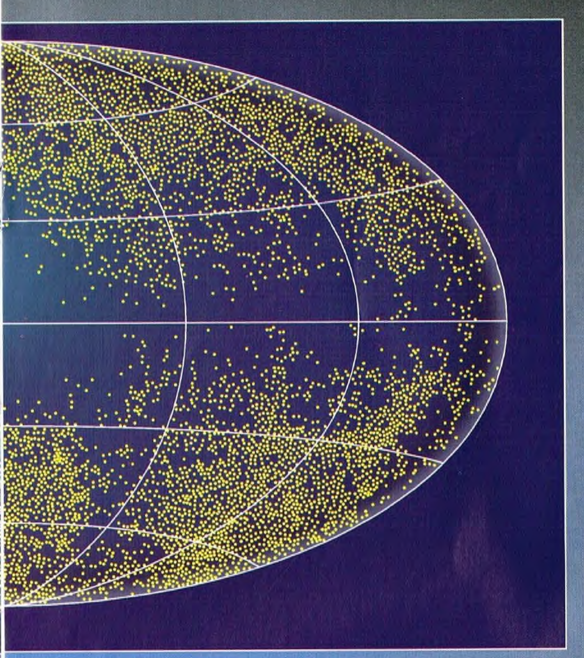


Arriba, posición en el firmamento de más de 3.000 galaxias cuya distancia ha sido medida en el proyecto del CfA (Center for Astrophysics). Puede verse la distribución, muy poco casual, de las galaxias y las estructuras en las que tienden a agruparse: filamentos y láminas de galaxias que se extienden entre cúmulos. La franja central carece casi totalmente de galaxias observadas porque, en esta dirección, nuestra Galaxia, la Vía Láctea, nos impide ver más allá.

TAMAÑOS MUY DIVERSOS

Se conocen cúmulos de galaxias de tamaños muy distintos entre sí. En astronomía, su diversidad se

A 120 Megaparsecs de nosotros, el cúmulo de Coma (en la constelación de la Cabellera de Berenice) es el prototipo del cúmulo regular, en equilibrio dinámico y rico en galaxias elípticas (en física se emplea la palabra virializado, que significa que la energía cinética de todas las galaxias es exactamente igual a la mitad de la energía potencial gravitatoria que confina para siempre las galaxias en el interior del cúmulo). En las fotografías 1 y 2, correspondientes a la región central del cúmulo, pueden verse varias galaxias elípticas gigantes, probables caníbales de decenas de objetos más pequeños. En la imagen de rayos X (3) se ve la luminosidad difusa del gas caliente, pero también pequeños puntos de emisión X debidos a cada una de las galaxias.



UNA ESPONJA CÓSMICA

La determinación de la distribución de las galaxias en el universo es uno de los problemas clave de la cosmología. En los últimos años, los científicos han comenzado a tener una idea de las enormes estructuras que forman el universo a gran escala, y han descubierto con estupor que el cosmos parece una gran esponja, con espacios alternativamente llenos y vacíos.

mide con la «riqueza», definida como el número de galaxias brillantes que pueden contarse dentro de 1,5 Mpc a partir del centro. Los cúmulos más ricos son también los más raros y, cuanto más se desciende en la escala de riqueza, mayor es el número de cúmulos que pueden encontrarse. Esta economía de escala es una ley muy difundida en nuestro universo, que trasciende del campo de la astronomía para implicarse en distribuciones de diversa naturaleza.

Utilizando esta clasificación, ha sido posible medir la distancia media entre dos cúmulos cualesquiera, aunque sean pobres. El resultado ha sido de 42 Mpc, mientras que para pasar de un cúmulo extraordinariamente rico a otro similar hay que recorrer un promedio de 188 Mpc. (A estas distancias cosmológicas, las medidas son muy poco precisas, ya que dependen del valor de la constante de Hubble, H_0, y las cifras que se dan aquí han sido calculadas suponiendo que $H_0 = 100$ km s^{-1} Mpc^{-1}. Si H_0 tuviese un valor de 50, entonces todas las distancias se duplicarían.)

RIQUEZA, FORMA Y EDAD

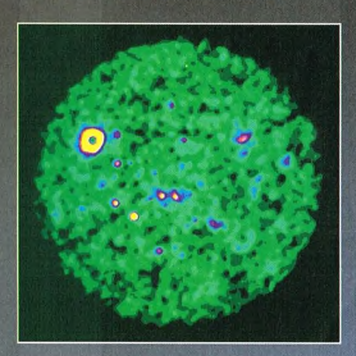
La riqueza de un cúmulo influye también en su contenido en galaxias. Ésta es una de las cuestiones







En la imagen 1, el cúmulo Abell 1060, que tiene un lado de un Megaparsec. En la imagen 2, ampliación del centro. En la imagen 3, la galaxia elíptica central del cúmulo, que se caracteriza por la emisión X, cuya fuente probablemente está situada en el gas intergaláctico.



A la izquierda, imagen X tomada por el satélite alemán ROSAT (ROentgen SATellite) del supercúmulo del Escultor, en la dirección de la constelación homónima. Se ve la gran luminosidad del cúmulo Abell 2211, mientras que la del resto de los cúmulos que pertenecen al mismo supercúmulo es menor.





El telescopio espacial Hubble ha permitido obtener imágenes de cúmulos cada vez más lejanos. Las dos fotografías de la derecha muestran dos cúmulos a distancias intermedias. En el primero se observa una gran cantidad de galaxias en espiral (en contraste con los cúmulos próximos, como el de Coma); en el segundo, a una distancia de varios miles de millones de años luz de la Tierra, se ven detalles de galaxias con señales de interacción gravitatoria, de fusiones y nuevas clases de galaxias de forma lineal jamás vistas anteriormente.

que en astronomía todavía esperan una explicación. Y no es, precisamente, un problema menor. Se ha observado que cuanto más ricos son los cúmulos, más galaxias de tipo elíptico contienen. Esto está íntimamente ligado al hecho de que una mayor riqueza implica una gran densidad de galaxias en las regiones más internas del cúmulo; en consecuencia, los cúmulos más ricos son generalmente los más regulares, con grandes concentraciones de galaxias. Si se considera la hipótesis de que los cúmulos regulares son los más viejos, se entra en el razonamiento de que las galaxias pasan de alguna manera de espirales a elípticas o lenticulares. Este fenómeno debería comprobarse observando los cúmulos más lejanos.

Desde hace décadas se conoce la peculiaridad de algunos cúmulos lejanos de mostrar una gran cantidad de galaxias de color azul, característica de las galaxias espirales, ricas en estrellas jóvenes de tal color. Después de este descubrimiento inicial, debido a Butcher y Oemler, varios grupos de astrónomos han ido abriendo el camino a una interpretación del fenómeno. Las imágenes obtenidas recientemente con el telescopio espacial Hubble han mostrado galaxias en cúmulos que distan miles de millones de años luz (y que, por tanto, se observan en los años de su juventud), de forma espiral y también irregular, en cantidades que hoy (es decir, cerca de nosotros) ya no es posible ver. Los motivos que pueden haber provocado su desaparición hay que buscarlos en dos posibles fenómenos: la fusión de dos o más galaxias entre sí o que en su interior se haya detenido la formación de nuevas estrellas. El primer fenómeno implica un inevitable cambio de forma a causa de las enormes interacciones gravitatorias que se producen en la fase de la fusión. Simulaciones por ordenador han mostrado que el resultado de una fusión (*merge*, en inglés) es siempre una galaxia esferoidal elíptica, en cierto modo como el resultado final de la construcción de un cúmulo de galaxias, que es siempre un cúmulo esférico regular.

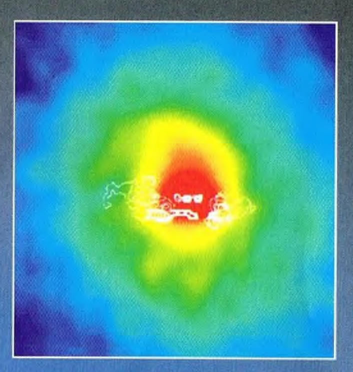
Por otra parte, la formación de estrellas podría haberse detenido prematuramente a causa de algún acontecimiento que hubiera eliminado todo el gas acumulado en el interior de una galaxia. Por ejemplo, interacciones gravitatorias intensas, como en los encuentros en proximidad (aunque no haya fusiones propiamente dichas), que pueden arrancar el gas del disco de una galaxia espiral y hacer que ésta se transforme inmediatamente en una de forma lenticular o en una con disco, pero sin que produzca más estrellas y con los colores de una galaxia elíptica. El gas también puede quedar eliminado cuando la galaxia en cuestión pasa por una región densa en gases y, en los cúmulos, la masa de gas libre es igual, al menos, a la de todas las galaxias ya formadas en su interior.



El campo gravitatorio de un cúmulo de galaxias es tan potente, que la luz de las galaxias situadas detrás de él se duplica antes de llegar a nosotros, sus observadores. Este fenómeno se llama «lente gravitatoria». En la ilustración de la izquierda, las imágenes de las galaxias de fondo quedan deformadas en forma de arcos. El cúmulo Abell 2218 es especialmente rico en estos arcos gravitatorios, como se ve en la fotografía tomada por el telescopio espacial.

EL EMPLEO DE LOS SATÉLITES

El gas intergaláctico del interior de los cúmulos ha sido detectado en las últimas décadas gracias a las observaciones efectuadas por los satélites artificiales equipados con telescopios y detectores sensibles a la radiación X. Los rayos X de procedencia cósmica



Esta imagen es el resultado de la superposición de la galaxia central 3C388 y el mapa X del centro del cúmulo Abell 2199, realizado con el satélite ROSAT. Se visualizan las ondas de radio en forma de contornos blancos resultantes de la superposición. El gas que se enfría, en el centro de los cúmulos, pierde su energía cinética, y la fuerza de atracción gravitatoria de la galaxia gigante cD, en el centro, lo captura. Este flujo de gas se llama en inglés cooling flow.

no son observables desde la Tierra (por fortuna; de lo contrario, la vida del planeta habría sufrido sus consecuencias) y sólo mediante los satélites en órbita es posible observar los fenómenos que los producen. En 1966 se detectó la emisión X procedente de la galaxia M87 del cúmulo de Virgo. Cinco años más tarde, le llegó el turno a los cúmulos de Coma y Perseo. Los siguientes satélites astronómicos (Uhuru, Einstein) y los que actualmente están en órbita (Rosat, Asca y Sax) han llenado páginas enteras de la literatura científica con observaciones, teorías e interpretaciones de la presencia de gas en los cúmulos. Las características del gas son increíbles, ya que le permiten producir una enorme cantidad de energía en forma de radiación X. Esto es debido a un proceso (cuya denominación técnica es *brehmsstrahlung* o radiación de frenado) en el que los electrones del gas de hidrógeno ionizado sufren unos choques que los desaceleran, emitiendo fotones con la longitud de onda de los rayos X. La temperatura a la cual el gas se comporta de este modo es de 10 a 100 millones de kelvin, que corresponde a una velocidad térmica de millares de kilómetros por segundo, la misma de las galaxias en sus órbitas caóticas alrededor del centro de gravedad del cúmulo. Esta interconexión gas-galaxias se manifiesta también en el equilibrio recíproco que existe y que aparece en los mapas X de los cúmulos, muy similares al de las densidades de galaxias, es decir que donde hay más gas hay también más galaxias.

EL ORIGEN DEL GAS INTERGALÁCTICO

Se piensa que, originariamente, este gas fue capturado por la fuerza de gravedad ejercida por el gas circundante. El gas remanente en el espacio entre los cúmulos debería ser similar al gas primigenio que inundaba el universo entero antes de la formación de las galaxias y las estrellas. Pero, sorprendentemente, las observaciones han mostrado que en el gas hay también una gran cantidad de hierro, y el hierro es un material que se produce exclusivamente en las explosiones de las supernovas.

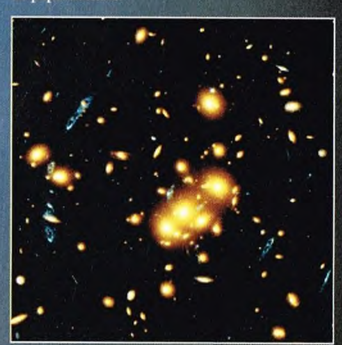
En muchos casos, y en los cúmulos más ricos, se ha observado el gas que, al enfriarse, cae en las regiones centrales del cúmulo y va a parar a la galaxia situada en el centro. Se trata, normalmente, de una gigantesca galaxia elíptica que va incorporando poco a poco las más pequeñas situadas en sus proximidades. Esto hace que vaya aumentando de tamaño hasta alcanzar el equivalente a decenas o centenares de galaxias normales: este tipo de galaxias son las llamadas cD.

EL SUPERCÚMULO LOCAL

La tendencia a la agregación no se detiene a escalas de un Megaparsec, típicas de los cúmulos de galaxias. Nuestro Grupo Local, así como muchos otros, forma una gran superestructura centrada aproximadamente en el cúmulo de Virgo. Tiene una forma similar a un gran plano extendido, con un pequeño abultamiento central (precisamente el cúmulo de Virgo), llamado Supercúmulo Local. El nuestro es uno de tantos entre las decenas de supercúmulos identificados después de la construcción de los mapas tridimensionales de la distribución de galaxias.

En el intento de llegar a comprender el universo a distancias cada vez mayores, los cúmulos tienen un papel decisivo.

En esta imagen, el cúmulo Cl0024 actúa como una lente gravitatoria y nos envía la luz de una galaxia de anillo que está en el fondo. Su luz es ampliada y multiplicada por cinco en un anillo circular centrado en medio del cúmulo.



DATOS

CONTENIDO TÍPICO DE LOS CÚMULOS EN TÉRMINOS DE MORFOLOGÍA DE LAS GALAXIAS

Tipo de cúmulo	Elípticas	Lenticulares SO	Espirales	Fracción (E+SO)/Sp
Regulares (con cD)	35%	45%	20%	4,0
Intermedios (pobres en espirales)	20%	50%	30%	2,3
Intermedios (ricos en espirales)	15%	35%	50%	1,0
Campo fuera de los cúmulos	10%	20%	70%	0,5

CABELLERA DE BERENICE



Las trenzas que Berenice, reina de Egipto, sacrificó para salvar a su esposo se convirtieron en constelación.

Esta constelación recuerda la hermosa cabellera ofrecida en voto a los dioses por la reina de Egipto para salvar a su esposo, que había partido para la guerra.



La antigua constelación de la Cabellera de Berenice es una de las más débiles del firmamento: sus estrellas destacan poco, pero constituyen un cúmulo de notables dimensiones aparentes, bien visible bajo la cola de la Osa Mayor.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

La Cabellera de Berenice está entre las constelaciones de Leo y el Boyero. Observando a media distancia entre las estrellas Arturo y Denebola –esta última representa la cola del León celeste– encontraremos, ligeramente desplazado hacia el norte, un grupito de pequeñas estrellas débiles en forma de «V» invertida: es el cúmulo estelar de la Cabellera.

ESTRELLAS NOTABLES

La estrella más brillante de la constelación es Beta (magnitud 4,3), una estrella amarilla que dista de nosotros unos treinta años luz.



Arriba, NGC 4565, la célebre galaxia que aparece de filo respecto a nuestra línea visual.

Un poco menos luminosa es Alfa o Diadema. La diferencia de magnitud entre Alfa y Beta sólo es perceptible por medio de instrumentos electrónicos. Alfa es una estrella blanca que, en realidad, está formada por un par de astros demasiado próximos entre sí para poderlos separar con telescopios de modestas dimensiones. Se necesita un instrumento de abertura superior a 10 cm para distinguirlas cuando se hallan separadas al máximo. El movimiento orbital se cumple en unos 26 años y la órbita está casi puesta de filo respecto a la línea visual.

Un par de estrellas muy bello es el que se conoce con el número 24: se trata de dos estrellas (magnitud 5,2 y 6,7) de colores contrastados, anaranjado y azul. Están a 20" una de otra.

Como ya se ha dicho, la mayoría de las estrellas de esta constelación forman parte de un cúmulo observable a simple vista, conocido como Melotte 111, por el nombre del astrónomo que lo identificó como tal. Se halla a 250 años luz de la Tierra y está formado por unos cuarenta astros.

OBJETOS DE LA CABELLERA DE BERENICE

La Cabellera es pobre en estrellas brillantes, pero es rica en galaxias y otros objetos telescópicos. Por ejemplo, M53, un cúmulo globular de octava magnitud. En cambio, pertenecen al cúmulo de galaxias de Virgo los objetos denominados M85, M88, M99 y M100. Como las otras galaxias de este grupo, están a unos 65 millones de años luz y brillan entre las magnitudes nueve y diez.

Más próxima, a una distancia de entre 25 y 50 millones de años luz, está la galaxia M64, conocida también como Black Eye, es decir, Ojo Negro, debido a una franja de polvo que circunda su núcleo y que es visible con telescopios de diámetro superior a 15 cm.

El objeto más célebre de la constelación es una galaxia no citada en el catálogo de Messier, a pesar de ser de décima magnitud y, por tanto, no más débil que otros astros descubiertos por el astrónomo francés. Se trata de NGC 4565, uno de los mejores ejemplos de galaxias puestas de perfil. Los telescopios más potentes muestran una banda de polvo que atraviesa su plano ecuatorial, dividiéndola en dos. Dista de la Tierra unos treinta millones de años luz.

Además de las galaxias del cúmulo de Virgo, hay otras, pertenecientes a un grupo que se encuentra más lejos, a 400 millones de años luz aproximadamente. Su magnitud es igual o superior a 13.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

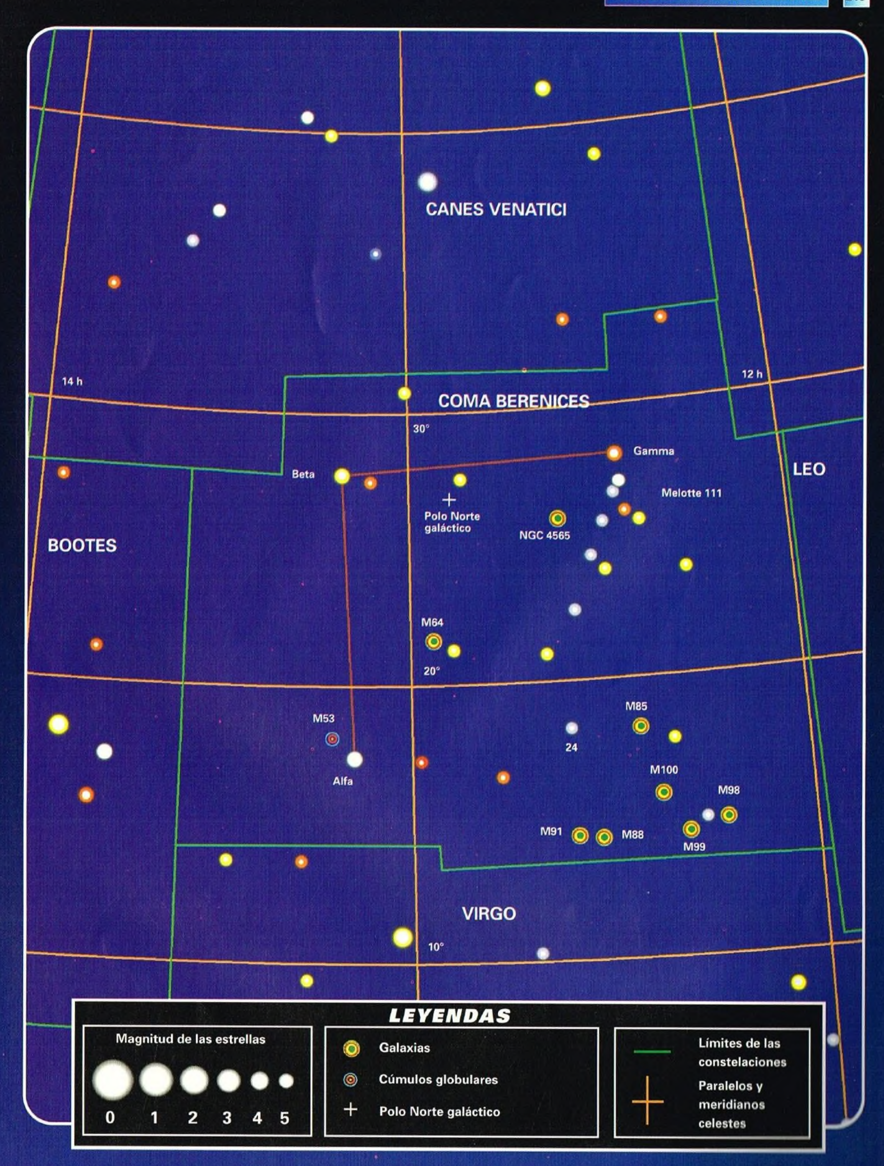
CABELLERA DE BERENICE

La leyenda que recuerda el nacimiento de esta pequeña constelación narra que Berenice, reina de Egipto en el siglo III a.C., estaba preocupada por la salvación de su esposo, Ptolomeo III, en guerra contra Seleuco, rey de Siria. Por eso, decidió hacer un voto a los dioses, prometiendo, a cambio de la salvación del rey, su esposo, cortarse sus espléndidas trenzas y ofrecerlas al templo de Afrodita. Los dioses contentaron a la soberana y ésta se cortó la cabellera. Para recordar su belleza, los dioses decidieron ponerla en el cielo como constelación, a fin de que todo el mundo pudiera admirarla.

DÓNDE BUSCARLA

CABELLERA DE BERENICE

La Cabellera de Berenice es una típica constelación primaveral situada entre Leo y el Boyero. Resulta visible desde la mayor parte de la Tierra, con la única excepción de las regiones más meridionales de nuestro planeta. Abarca una región del cielo comprendida entre las 11 horas 55 minutos y las 13 horas 35 minutos de ascensión recta, y entre 14 y 34° de declinación, aproximadamente.


CANES VENATICI
14 h
12 h
COMA BERENICES
30°
Gamma
Beta
LEO
Melotte 111
Polo Norte
galáctico
NGC 4565
BOOTES
M64
20°
M85
M53
24
Alfa
M100
M98
M91
M88
M99
VIRGO
10°
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Galaxias
Cúmulos globulares
Polo Norte galáctico
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

EL PROYECTO GEMINI

Dos astronautas en vez de uno, poder cambiar de órbita durante el vuelo, experimentar el acoplamiento con un cohete, salir de la cápsula durante el vuelo espacial: éstos y otros fueron los objetivos alcanzados con las cápsulas Gemini, que siguieron al proyecto Mercury y perfilaron los detalles del proyecto Apollo, el que llevaría al hombre hasta la Luna.



Después del proyecto Mercury, los estadounidenses se concentraron en un nuevo programa cuyo inicio, sin embargo, pasó inadvertido: el proyecto Gemini.

El 7 de diciembre de 1961 se establecieron las líneas maestras del plan para la conquista del espacio, que seguiría a los vuelos del Mercury. Pero muy pocos se interesaron por el nuevo proyecto, porque toda la atención se dedicaba a los preparativos del primer vuelo orbital de un estadounidense, John Glenn. No obstante, la comisión que había trabajado en el proyecto Gemini tenía proyectada una cápsula para llevar a dos hombres al espacio, que serviría a la vez para experimentar una serie de maniobras indispensables para un vuelo a la Luna.

Así pues, el proyecto Gemini debería:

1. Poner a punto un programa que fuese consecuencia lógica del proyecto Mercury y que permitiese efectuar un nuevo salto tecnológico.
2. Someter varias tripulaciones a vuelos de larga duración.
3. Realizar el encuentro entre una cápsula Gemini y otro vehículo orbital.
4. Experimentar la salida al espacio de astronautas desde la cápsula y verificar las posibilidades de trabajar en el vacío.
5. Perfeccionar la reentrada a la Tierra, que durante los vuelos Mercury había presentado algunos problemas.

LOS VUELOS

Los dos primeros vuelos se efectuaron sin hombres a bordo, con el fin de verificar la fiabilidad tanto del cohete, un Titan-2, como de la nueva cápsula. La Gemini-1 no fue recuperada, pero sí la Gemini-2, que demostró las aptitudes del vehículo para atravesar la atmósfera resistiendo el fuerte calor y los esfuerzos sobre su estructura. La primera Gemini habitada debería haber partido en 1964, pero el programa se retrasó casi un año. Esto permitió a los soviéticos volver a ser, una vez más, los primeros en la conquista del espacio, ya que en octubre de 1964 consiguieron elevar un cohete con tres cosmonautas a bordo de una Vosjod para realizar un vuelo de 16 órbitas. El 18 de marzo de 1965, la decepción fue mayor, ya que, aun antes de la partida de la Gemini-3, los soviéticos lanzaron la Vosjod-2 con dos cosmonautas, uno de los cuales, Alexéi Leónov, efectuó la primera «actividad extravehicular» al salir de su cápsula para dar un paseo espacial de unos minutos.

A la izquierda, el astronauta estadounidense Edward White en una actividad extravehicular (EVA), durante la misión Gemini-Titan 4.

Radar de encuentro
Paracaídas de amaraje
Sistema de control de ajuste para la reentrada
Sensores de horizonte
Ojo de buey
Módulo de reentrada
Sistema de guía inicial
Módulo retrocohetes
6 cohetes de maniobra de 45,3 kg y 2 cohetes de desaceleración de 38,5 kg de empuje
Retrocohetes de combustible sólido
Instrumentación
Sistema de alimentación eléctrica
Aparatos de telecomunicación
Depósitos de combustible
Agua potable
Cohetes para control de ajuste
Módulo de servicio

Despiece de una cápsula Gemini. Los astronautas se alojaban en la parte superior, en un espacio bastante angosto.

Finalmente, el 23 de marzo de 1965, Grisson y Young fueron lanzados al espacio con la Gemini-3. A pesar de tratarse de un vuelo breve (solamente se efectuaron tres órbitas), la Gemini-3 demostró una notable fiabilidad. Entre otras cosas, fue la primera cápsula espacial que cambió el plano y la amplitud de la órbita, cosa que demostraba su notable manejabilidad. A partir de este momento, el programa Gemini se intensificó considerablemente. Al ritmo de un vuelo cada dos meses, la Gemini-3 fue seguida de otras nueve misiones. El 3 de junio, la Gemini-4 completó en el espacio 62 órbitas; en total el vuelo duró cuatro días, durante los cuales Edward White también paseó por el espacio. La experiencia fue tan apasionante para White, que su comandante, James McDivitt, tuvo serias dificultades para hacerlo entrar de nuevo en la Gemini. Durante 20 minutos se divirtió moviéndose hacia adelante y hacia atrás de la Gemini, utilizando una pistola de gas para cambiar de dirección. Al volver a entrar dijo: «Éste es el momento más triste de mi vida». Este vuelo inauguró también el nuevo centro espacial de la NASA, instalado en la periferia de Houston, que sustituía al ya obsoleto de Cabo Kennedy. En Houston, el nuevo jefe era Christopher Columbus Kraft Jr., que con sólo 41 años mandaba un equipo de 600 hombres a los que mantenía continuamente bajo presión simulando una y otra vez posibles incidentes o problemas a bordo de las cápsulas, que los técnicos tenían que saber afrontar y resolver con la máxima calma. Su eficiencia evitó que una cápsula con avería parcial comprometiese un vuelo. Esto ocurrió realmente con la Gemini-5, que llevaba a bordo a Cooper, un veterano de las cápsulas Mercury, y a Charles Conrad Jr. Con este lanzamiento, los estadounidenses querían experimentar el comportamiento del organismo humano en un vuelo de ocho días, probar el sistema radar para el acercamiento en órbita a otra cápsula y controlar el funcionamiento de nuevas pilas de combustible. Se trataba de pilas que generaban electricidad mediante una reacción entre oxígeno e hidrógeno, es

La cápsula Gemini-7 fotografiada desde la Gemini-6, durante un intento de acoplamiento en órbita.



decir, un sistema productor de energía mucho menos pesado que los sistemas utilizados hasta entonces. Pero, durante el vuelo, una de estas pilas no fue capaz de trabajar correctamente, a pesar de lo cual Kraft y sus hombres consiguieron llevar a cabo la misión y demostrar que los astronautas podían soportar perfectamente un viaje por el espacio de ocho días de duración. El punto clave del proyecto Gemini fue el vuelo de las cápsulas 6 y 7. A este vuelo en formación se llegó casi por casualidad. La Gemini-6 debía partir el 25 de octubre para intentar acoplarse a una fase del cohete Agena, un vehículo-diana sin hombres a bordo. Pero mientras los astronautas Schirra y Thomas Stafford esperaban la conformidad para el lanzamiento, el Agena explosionó poco antes de llegar a la órbita establecida. Inicialmente, esto hizo pensar en un aplazamiento de varios meses del programa, pero al cabo de poco tiempo se tomó la decisión de efectuar una expedición conjunta con la Gemini-6 y la Gemini-7 y hacerlas aproximarse hasta unos pocos centímetros. El contacto físico no podía realizarse porque las cápsulas no estaban pensadas para una cita entre elementos similares. Así, el 4 de diciembre, Frank Borman y James Lovell Jr. partieron con la Gemini-7, y el 12 de diciembre fue lanzada la Gemini-6. Tres días después, el 15 de diciembre, Schirra maniobró la cápsula en un seguimiento de más de 160.000 km en el espacio y se aproximó a la Gemini-7, a unos 300 km de altura sobre la Tierra y a una velocidad de más de 27.000 km/h. Las dos cápsulas llegaron a una distancia de tan sólo 30 cm y, durante varias horas, giraron en formación alrededor de nuestro planeta. Ambas regresaron a la Tierra sin problemas. La Gemini-8 llevaba a bordo a Neil Armstrong, que habría de ser el primer hombre que pisara la Luna, y a David Scott. Después de acoplarse con un cohete Agena, una maniobra delicada que sin embargo Armstrong definió como idéntica al aparcamiento de un automóvil, la Gemini-8 tuvo graves problemas de estabilidad. A causa del mal funcionamiento de un cohete de empuje, la cápsula empezó a encabritarse y a girar desordenadamente. Armstrong y Scott se vieron obligados a hacer un descenso de emergencia en el océano Pacífico antes de terminar su primer día en el espacio.

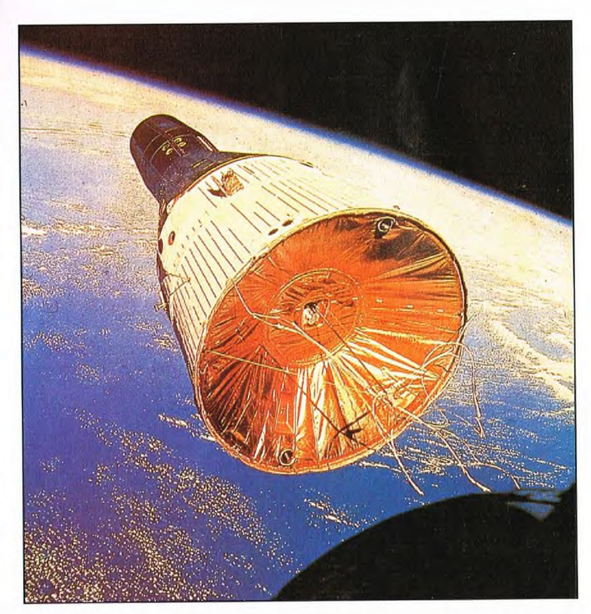
A pesar de esta contrariedad, la misión Gemini-9 partió normalmente para un vuelo de tres días. Stafford y Cernan experimentaron tres maneras diferentes de aproximarse a un objetivo en órbita. No intentaron el acoplamiento porque el ligero escudo protector que rodeaba el collarín destinado a la unión vehículo-cohete no se desplegó totalmente.

El 18 de julio, Young y Michael Collins partieron con la Gemini-10 para una misión también de tres días. Primero se aproximaron a su cohete Agena e hicieron algunas pruebas de acoplamiento utilizando el Agena abandonado en órbita durante la misión de la Gemini-8. Luego se acoplaron con su propio Agena.

El 12 de septiembre se lanzó la Gemini-11. Durante el vuelo, igualmente de tres días, Conrad y Gordon Jr. se unieron a un Agena y, después de haber encendido el cohete de este último, se lanzaron hasta 1.370 km de altura, la mayor distancia a la que jamás se había aventurado el hombre.

El último vuelo del programa Gemini partió el 11 de noviembre llevando a bordo a Lovell y a Edwin Aldrin Jr., los cuales, a pesar de algunos problemas con el radar de la cápsula, consiguieron aproximarse y acoplarse con otro Agena. Aldrin dio un paseo espacial durante unas cinco horas.

Con la conclusión de la misión de la Gemini-11 se había cumplido todo cuanto la NASA se proponía experimentar como preludio a los vuelos del programa Apollo.



Una fase del acoplamiento* (docking) *de la cápsula Gemini-3, lanzada el 23 de marzo de 1965.

Las 969 horas y 56 minutos de permanencia en el espacio habían anulado casi las diferencias tecnológicas con los colegas soviéticos, y todo permitía presagiar que el proyecto Apollo podría iniciarse de la mejor de las maneras para llegar realmente a la Luna antes de finalizar los años sesenta, con una cápsula y dos hombres.

LA CÁPSULA GEMINI

El proyecto de la cápsula Gemini derivó directamente de las cápsulas Mercury en cuanto a su disposición aerodinámica, pero los sistemas y la concepción de la estructura interna eran distintos.

Las principales diferencias consistían en que la cápsula estaba dividida en dos módulos, cada uno de los cuales tenía una función distinta: uno era el módulo de reentrada y el otro el de servicio.

El conjunto tenía una longitud de 5,8 m, con una base circular de 3,5 m de diámetro. En total, cada Gemini pesaba casi 4 toneladas.

La sección habitada, o módulo de reentrada, tenía 1,9 m de longitud y en su



Espectacular imagen del encuentro en órbita entre las cápsulas Gemini-6 y Gemini-7.

Rogallo, por el nombre del ingeniero de la NASA que lo había proyectado. Habría sido una especie de ala, similar a la que utilizan los planeadores delta, que, saliendo de la cápsula a 18 km de altura, habría permitido a las Gemini aterrizar sobre una superficie sólida, sobre todo en pistas expresamente preparadas, en las cuales se habrían posado mediante patines. Muchos técnicos abrigaban serias dudas sobre las posibilidades efectivas de este sistema, pero, en realidad, sólo el retraso acumulado en la realización impidió su puesta en práctica.

Por eso, también las Gemini amararon con dos paracaídas: el piloto, que se abría a 15 km de altura, y el principal, a 3 km de la superficie del mar.

Este sistema, ya experimentado con las cápsulas Mercury, demostró su fiabilidad con el proyecto Gemini y se aplicaría también en la reentrada de las cápsulas Apollo. Habría que esperar hasta el primer transbordador para ver una astronave estadounidense aterrizar sobre una pista después de haber viajado por el espacio.

parte inferior llevaba el escudo antitérmico para la protección contra el calor durante la reentrada en la atmósfera.

El módulo de servicio estaba compuesto por una sección en la que se alojaban los retrocohetes que servían para disminuir la velocidad de la cápsula antes de la reentrada; en caso de avería durante la partida, podían hacer que la cápsula se separara del resto del lanzador. De presentarse algún peligro durante la fase de lanzamiento, los dos astronautas podían ser eyectados desde la cápsula con sus propios asientos, tal como suele hacerse en los aviones militares de reacción.

El módulo de servicio también tenía otros seis motores que servían para los movimientos en órbita y para las citas.

Finalmente, entre las novedades, había dos pilas de combustible para el suministro de energía eléctrica. En su soporte se instalaron cuatro baterías plata-cinc que entraban en acción antes de la reentrada y después de la separación de la sección que albergaba las células de combustible.

El módulo de servicio se desprendía del resto de la cápsula poco antes de la reentrada en la atmósfera terrestre.

Las cápsulas Gemini deberían haber experimentado un nuevo sistema de retorno a la Tierra, denominado Ala

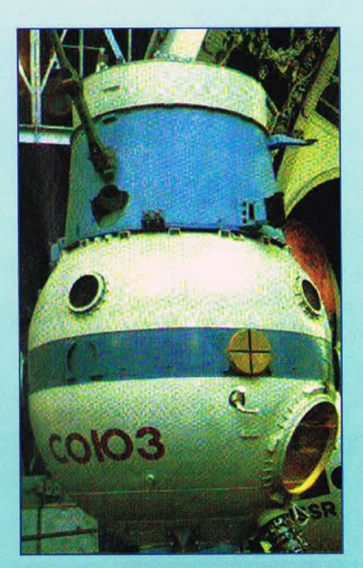


Una imagen del rescate, en el océano Pacífico, de los astronautas David Scott y Neil Armstrong, tripulantes de la Gemini-8.

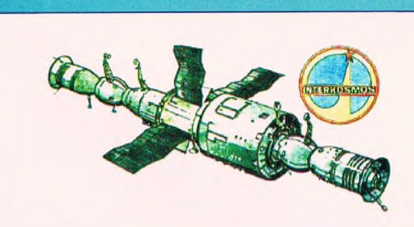
SALYUT: EL PRIMER LABORATORIO ESPACIAL

Los largos vuelos por el espacio hacia Marte o planetas todavía más lejanos no se podrán realizar si no se experimenta el comportamiento del hombre en ausencia de gravedad durante períodos de meses o de años. Conscientes de este hecho, los soviéticos iniciaron experimentos en este sector y, para llevarlos a cabo, construyeron las primeras estaciones espaciales.

Reconociendo la imposibilidad de competir con Estados Unidos en la carrera hacia la Luna, los soviéticos, ya antes del fatídico 21 de julio de 1969, fecha en que los estadounidenses se posaron en nuestro satélite, se dedicaron a la construcción de un laboratorio espacial. Así, en octubre de 1969, Leonid Bréznev anunciaba en un discurso que la entonces Unión Soviética construiría muy pronto en el espacio una pequeña estación que permitiría hacer investigaciones de tecnología espacial, biología, medicina, geofísica, astronomía y astrofísica. En aquellos años de feroz «guerra fría», se pensó que el lanzamiento de este laboratorio ocurriría de un día para otro, pero, en realidad, aquellas palabras no hacían más que exponer una situación: los soviéticos sólo estaban construyendo su primera estación espacial. Hubo que esperar hasta el 19 de abril de 1971 para asistir al lanzamiento de la Salyut-1, que fue a orbitar a una altura de 200-222 km de la superficie terrestre. Después del lanzamiento de la primera «casa del cosmos», siguieron otros seis. El último de ellos, el 19 de abril de 1982, puso en órbita la Salyut-7. Todas las Salyut fueron lanzadas con el más potente cohete que entonces poseía la Unión Soviética: el Proton Sl-13.



A la derecha, el módulo orbital de la Salyut. Se distingue bien el cilindro utilizado para funciones de auténtico laboratorio, dotado de dispositivos articulados.



Abajo, dibujo de la estación orbital soviética Salyut-6, lanzada el 29 de septiembre de 1977. Tenía dos portillos para el acoplamiento con las Soyuz, uno en la parte anterior y otro en la posterior. Con el acoplamiento simultáneo a la Salyut-6 de la Soyuz-26 y la Soyuz-27, se realizaba el primer acoplamiento en órbita de tres vehículos.

CÓMO ESTABA HECHA LA SALYUT

Exteriormente, la Salyut se presentaba como un módulo constituido por tres cilindros de diámetro sucesivamente inferior, empotrados unos en otros.

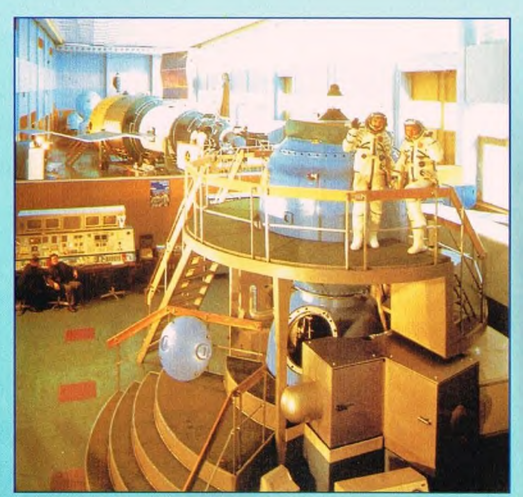
En total, podían alcanzar una longitud de 16 m, y el diámetro del cilindro mayor medía 4,5 m.

Constaba de tres partes: un módulo que servía para el acoplamiento con las Soyuz o el vehículo automático Progress, de 3 m de largo y con un diámetro de 2 m; otro módulo que constituía el laboratorio propiamente dicho y estaba dividido a su vez en dos partes: una de 3,8 m de longitud y 2,9 m de anchura, y otra de 4,1 m de longitud y 4,15 m de anchura; finalmente, el tercer módulo no estaba presurizado y albergaba el sistema de propulsión, así como diversos instrumentos. Tenía una longitud de 2,17 m y un diámetro de 2,2 m.

Con la Salyut-6, el último módulo se alargó para permitir la instalación de un segundo acceso al laboratorio y un nuevo sistema de propulsión.

Otra característica variable en las diversas Salyut fue el número de paneles solares para la producción de energía eléctrica, un número que fue aumentando con el tiempo.

Además, con la Salyut-3 apareció un sistema que permitía a los cosmonautas salir al espacio. En total, las Salyut tenían un peso aproximado de 19 toneladas.



LAS MISIONES

SALYUT-1: partió el 19 de abril de 1971. Estaba proyectada para efectuar siete importantes experimentos científicos. La habitó un solo equipo de cosmonautas. La Soyuz-10 no consiguió acoplarse a la estación espacial y hubo que esperar el vuelo de la Soyuz-11, cuya tripulación habitó la Salyut del 7 al 29 de junio de 1971. Pero un fallo en el sistema de presurización de la Soyuz causó la muerte de los astronautas durante la reentrada.

SALYUT-2: partió el 3 de abril de 1973 y permaneció en el espacio durante 55 días a una altura comprendida entre los 239 y los 260 km, pero no la habitó ningún cosmonauta.

SALYUT-3: fue la primera estación espacial militar de la Unión Soviética. Fue lanzada el 24 de junio de 1974 y se estabilizó a una altura comprendida entre los 268 y los 272 km. La habitó un solo grupo de cosmonautas que llegó a ella a bordo de la Soyuz-14. Los colegas de la Soyuz-15 no consiguieron acoplarla. El 23 de septiembre de 1974, la Salyut soltó un módulo expresamente construido que regresó a territorio soviético con material fotográfico tomado desde el espacio. La estación espacial reentró en la atmósfera incendiándose. Era el 24 de enero de 1975.

SALYUT-4: esta estación espacial puede considerarse como la primera de uso civil. Lanzada el 26 de diciembre de 1974, poseía una cantidad mayor de paneles solares que las estaciones anteriores. Fue habitada por dos grupos de cosmonautas. El primero la alcanzó con la Soyuz-17 el 11 de enero de 1975 y permaneció en la Salyut hasta el 9 de febrero. El segundo grupo llegó a bordo de la Soyuz-18 el 25 de mayo y la habitó hasta el 26 de julio. El 5 de abril del mismo año, la Soyuz 18-1 abortó su propio lanzamiento por un incidente en el cohete. La tripulación consiguió salvarse. Otra Soyuz, sin tripulación, se acopló a la Salyut-4 el 17 de noviembre del mismo año. La estación espacial hizo su reentrada en la atmósfera el 2 de febrero de 1977.

SALYUT-5: fue la segunda estación espacial militar soviética. Lanzada el 22 de junio de 1976, era similar a la Salyut-3 y también envió a la Tierra una pequeña cápsula con importante material fotográfico. Recibió dos tripulaciones: la primera, con la Soyuz-21, llegó a ella el 6 de julio de 1976 y la habitó hasta el 24 de agosto; la segunda, con la Soyuz-24, se acopló a la Salyut el 7 de febrero de 1977 y permaneció en ella hasta el 25 del mismo mes. La Soyuz-23, que partió el 24 de octubre de 1976, no consiguió efectuar el acoplamiento. La Salyut-5 reentró en la atmósfera el 8 de agosto de 1977.

SALYUT-6: puede considerarse realmente la segunda generación de las Salyut: un nuevo tipo de propulsión, más potente, y un segundo sistema de anclaje posterior, tanto para cápsulas como para vehículos automáticos Progress eran las principales características que diferenciaban esta nueva estación espacial de las anteriores. La Salyut-6 fue lanzada el

Arriba, una fase del entrenamiento de los cosmonautas de la Soyuz-33, el soviético Nikolái Rukavíshnikov y el búlgaro Georgi Ivanov. Su intento de acoplamiento a la Salyut-6 fracasó y regresaron a la Tierra sin haber completado su misión.



A la izquierda, el comandante de la Soyuz-14, Pável Popóvich, con su compañero Yuri Artiujin, en una fase de su entrenamiento en el centro Yuri Gagarin, antes de su misión a bordo de la Salyut-3.



A la derecha, la cabina de maniobra de la Salyut en las fases de acoplamiento y en los períodos de pruebas mecánicas realizadas para comprobar las buenas condiciones de los aparatos.



A la izquierda, los tripulantes de la Soyuz-29, Vladimir Kovalenko y Alexander Ivanchenkov. En 1978, ambos cosmonautas permanecieron en órbita 140 días, sin que mostrasen a su regreso graves daños físicos: sólo una disminución de su masa muscular.

29 de septiembre de 1977. Además de los instrumentos normales de navegación y guía, se le incorporó un nuevo sistema automático de navegación, llamado Delta, y un aparato más eficaz para la regeneración de agua acoplado a una ducha para los cosmonautas. La Salyut-6 tenía un plan operativo totalmente diferente al de las Salyut anteriores. Un equipo de cosmonautas permaneció a bordo de la estación espacial durante un largo período, mientras que otros grupos la visitaban y regresaban a la Tierra después de algunos días. Las «visitas» empezaron a llevar a bordo a astronautas huéspedes pertenecientes a países distintos de la Unión Soviética, como búlgaros, alemanes orientales, checos, polacos, rumanos, vietnamitas, húngaros y cubanos. Fueron 14 las Soyuz que se acoplaron a la Salyut-6. Durante estas misiones se utilizaron las nuevas Soyuz de la serie T. Además de las Soyuz, atracaron 12 cápsulas Progress de aprovisionamiento y, al final, una cápsula Cosmos. Ésta permaneció acoplada a la Salyut hasta el término de la misión, que concluyó con la reentrada en la atmósfera el 29 de julio de 1982.

SALYUT-7: fue lanzada el 19 de abril de 1982. Muy parecida a la Salyut-6, la nueva estación espacial llevaba a bordo un hornillo eléctrico y un frigorífico. Además, los cosmonautas podían disponer constantemente de agua caliente. Se construyeron dos ojos de buey que permitían que la luz ultravioleta entrara en la estación y contribuyera a la eliminación de infecciones. Por otra parte, las estructuras médicas se habían ampliado, así como las biológicas y el área dedicada a los ejercicios gimnásticos, todo ello para permitir a los astronautas una permanencia a bordo lo más larga posible. Además del acoplamiento con la Soyuz 10-T, a la Salyut-7 se aproximaron dos Cosmos, el primero de los cuales también hizo su reentrada en la Tierra. La Soyuz T-10-1 no consiguió partir, ya que se produjo un incendio en la base de la rampa de lanzamiento. Por fortuna, el sistema de seguridad hizo que la Soyuz se separara del cohete, lo que salvó a la tripulación. Durante la misión, sólo dos astronautas extranjeros, un francés y un indio, estuvieron a bordo de la Salyut-7.

El éxito de estas misiones dio vía libre a la construcción de la primera estación espacial permanente, la MIR, cuyo primer componente llegó al espacio a comienzos de 1986.

Uno de los accidentes más trágicos del programa espacial soviético fue el que sufrió una Soyuz en 1971. Los tres astronautas de la fotografía de abajo, Georgi Dobrovolski, Viktor Patsáiev y Vladislav Vólkov, perecieron durante la reentrada en la Tierra.



PROGRESS: LOS VEHÍCULOS AUTOMÁTICOS DE REAPROVISIONAMIENTO

El primer lanzamiento de un Progress se efectuó el 20 de enero de 1978 desde Baikonur-Tiuratam. Su misión era reaprovisionar el laboratorio Salyut-6. Derivado de las Soyuz, entró a formar parte de la flotilla de cápsulas soviéticas como vehículo de reaprovisionamiento. Su fiabilidad ha hecho que se utilice también en la estación espacial MIR. Capaz de una carga útil de varios centenares de kilogramos, el Progress está formado por tres módulos. En el primero se encuentran las provisiones que los astronautas sacan después del acoplamiento; luego, se convierte en un hueco receptor de desperdicios. El segundo contiene oxígeno para los astronautas, y el tercero, los propulsores para el acoplamiento en órbita. La cápsula Progress tarda dos días en llegar al laboratorio y, en su acoplamiento con las Salyut, eran capaces de elevar la órbita de todo el complejo, por lo que no se malgastaban las reservas del laboratorio. Actualmente, las Progress permanecen acopladas a la MIR hasta que el espacio anterior está lleno de desperdicios. Luego, separado de la estación espacial, este depósito se hace entrar en la atmósfera, donde se quema.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

CAMPOS MAGNÉTICOS PLANETARIOS

ESTRELLAS Y GALAXIAS

GALILEO Y EL ANTEOJO

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

LA HIDRA

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

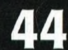
EL COLOR DE LOS OBJETOS CELESTES

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

EL PROYECTO CLUSTER

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO



9 788439 554219 10044

$ 3,90

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

PETICIÓN DE FASCÍCULOS ATRASADOS

Válido sólo para el territorio español y para no suscriptores.

Si desea recibir algún fascículo atrasado o tapas, rellene en LETRAS MAYÚSCULAS este boletín y envíelo a:
PLANETA-DeAGOSTINI, Apartado de Correos N.º 2.867 - 08080 Barcelona, o llame al Tel. **902 288 288***

DATOS PERSONALES:

APELLIDOS

NOMBRE

CALLE O PLAZA

N.º PISO PUERTA ESC.

CÓDIGO POSTAL POBLACIÓN

PROVINCIA EDAD

TELÉFONO PROFESIÓN

FIRMA (Imprescindible)

• Recibirá contrarreembolso, más gastos de envío todo el material que nos haya solicitado.

SOLICITUD:

EL UNIVERSO
ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

Indique los números de los fascículos atrasados que desea recibir:

/ / / / / / / / /

/ / / / / / / / /

N.º de tapas que solicita: ______

Indique si desea recibir la versión con vídeo o sin vídeo:

Con vídeo ☐ Sin vídeo ☐

• Planeta-DeAgostini mantendrá su servicio de petición de atrasados hasta un plazo máximo de 18 meses a partir de la fecha de venta de cada uno de los números que forman la colección.

CAMPOS MAGNÉTICOS PLANETARIOS

Las sondas enviadas al sistema solar nos han permitido observar el campo magnético de muchos planetas. Algunas de las cosas averiguadas son muy extrañas.



Los campos magnéticos planetarios son aquellos que están presentes alrededor de algunos planetas de nuestro sistema solar.

En general, el campo magnético de un planeta es dipolar, con un polo Norte y un polo Sur magnéticos, análogo al de una barra de hierro imantada. El eje que pasa por los dos polos suele ser casi paralelo al eje de rotación y pasar por el centro del planeta.

En muchos planetas, como la Tierra, Júpiter y Saturno, este «dipolo» magnético forma un ángulo pequeño con el eje de rotación (no es éste el caso, en cambio, de Urano y Neptuno). En la Tierra dicho ángulo es de 11,7 grados.

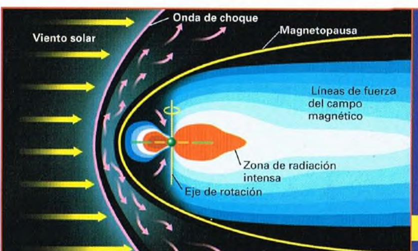
Para explicar los campos magnéticos planetarios se suele recurrir a una analogía con una dinamo ideal, la cual estaría situada en el interior del planeta y formaría el campo. No obstante, los mecanismos todavía no son bien conocidos porque los datos sobre el interior de los planetas son muy difíciles de obtener.

LA MAGNETOSFERA

Los campos magnéticos de los planetas producen una magnetosfera, esto es, una región delimitada por el viento solar y el campo magnético que rodea los planetas.

En la cara del planeta orientada hacia el Sol, el campo magnético está confinado en una región relativamente pequeña debido a la acción del viento solar que viaja a velocidad supersónica; las partículas del viento deforman el campo y provocan la formación de una larga cola detrás del planeta. En las inmediaciones de la magnetosfera, allí donde el campo apenas consigue contrarrestar el viento solar, se forma una onda de choque análoga a la que precede a un avión, si bien la perturbación es electromagnética y no de tipo onda de presión.

A la izquierda, una espectacular aurora. Este fenómeno es característico de regiones de elevadas latitudes, por encima de los círculos polares ártico y antártico.



En el dibujo de arriba se ha representado la estructura de la magnetosfera de Saturno. El campo magnético de este gigante es comparable al de la Tierra y mucho menor que el de Júpiter.

El viento solar no consigue penetrar en la magnetosfera y se desliza por su superficie, la llamada magnetopausa.

En el caso de la Tierra, el campo magnético lo produce el núcleo en estado líquido. Los metales que éste contiene poseen una elevada conductividad que determina la presencia de corrientes eléctricas. Las partículas cargadas en movimiento generan un campo magnético análogo al que recorre un hilo conductor; el movimiento de rotación terrestre, por tanto, provoca la formación de una enorme dinamo que produce el campo magnético planetario.

La magnetosfera de un planeta desvía la mayor parte de las partículas de alta energía del viento solar; las pocas que consiguen penetrar en ella quedan atrapadas en haces de radiación que rodean el cuerpo; en la Tierra estas regiones se llaman cinturones de radiación de Van Allen.

El campo magnético de un planeta es solidario del propio planeta; por tanto, la velocidad de rotación de un cuerpo puede calcularse a partir de las fluctuaciones periódicas de la intensidad del campo y en algunos planetas a partir de las emisiones radioeléctricas procedentes de zonas próximas a los polos magnéticos, que varían periódicamente siguiendo el movimiento de precesión del eje magnético alrededor del eje de rotación.

Los campos magnéticos que hemos descrito hasta el momento son debidos a corrientes conductoras producidas casi siempre por el material en estado líquido que fluye por el interior del planeta. Son asimilables, pues, a dinamos naturales. Estos campos se llaman «intrínsecos». Los campos

El viento solar es desviado alrededor de la Tierra por el campo magnético; son muy pocas las partículas que consiguen atravesarlo.

magnéticos «extrínsecos», en cambio, derivan de la interacción entre el viento solar y la parte ionizada y externa de la atmósfera del planeta. Este flujo de partículas lleva consigo el campo magnético del Sol.

PLANETAS TERRESTRES

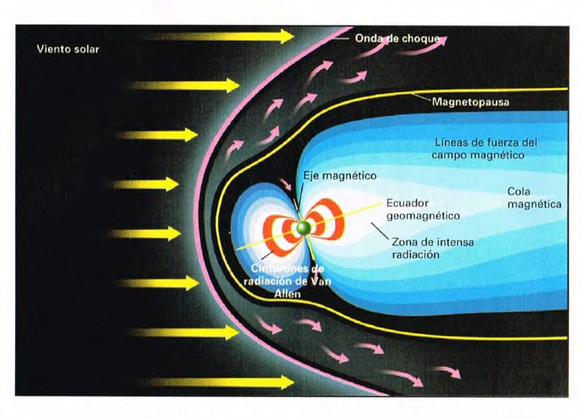
Con excepción de la Tierra, los planetas de tipo terrestre, contrariamente a lo que cabría esperar, no poseen fuertes campos magnéticos. El campo de Mercurio es débil, el de Venus no es siquiera medible y el de Marte es debilísimo.

El campo magnético de Mercurio es dipolar y su intensidad es igual a un sexto de la del campo terrestre; el dipolo magnético forma con el eje de rotación un ángulo de unos 11 grados, un valor muy similar al de la Tierra. Como hemos visto, la presencia de un campo magnético requiere la existencia de un núcleo fluido que sea un buen conductor eléctrico. Ello lleva a suponer que existe una región fluida alrededor del núcleo de hierro y níquel (que probablemente ocupa unos 7/10 del radio de Mercurio).

Venus posee una atmósfera muy densa cuya región superior, la ionosfera, es ionizada por la radiación ultravioleta procedente del Sol. La presencia de esta ionosfera encauza el viento solar que fluye alrededor del planeta en una cola situada en el lado no iluminado, lo mismo que sucede con las líneas de fuerza del campo solar. Los datos enviados por las sondas han puesto de manifiesto que prácticamente no hay campo magnético intrínseco (se estima que su valor es de 1/100.000 del campo magnético



Venus no posee un auténtico campo magnético. El viento solar interactúa simplemente con las capas exteriores de la atmósfera venusiana.



En las regiones en las que el viento solar interactúa con la magnetosfera, se produce una onda de choque. Las partículas desviadas forman una cola detrás del planeta.

terrestre). Esto significa que en el interior del planeta no se verifica el ya mencionado efecto dinamo. Dado que la estructura interna de Venus es similar a la de la Tierra, con la presencia de un núcleo conductor fluido, es probable que la dinamo no se haya puesto en marcha debido a la baja velocidad de rotación del planeta.

Como demuestra el caso de Marte, determinar el campo magnético intrínseco de un planeta no es cosa fácil. Los datos indican que el campo del planeta rojo vale unas 3/10.000 del terrestre, pero no está claro si se trata de un campo magnético efectivo producido por el planeta o del resultado de la interacción de la atmósfera marciana con las partículas del viento solar.

JÚPITER Y SATURNO

La existencia de un campo magnético en los gigantes gaseosos se explica por la presencia en su interior de hidrógeno metálico fluido, el cual, al ser un buen conductor y girar a gran velocidad, genera un campo magnético. El campo de Júpiter es el más intenso de los planetarios: unas 12 veces mayor que el terrestre. El eje magnético joviano dista 10 grados del de rotación. La magnetosfera se extiende más allá de las órbitas de sus lunas y presenta la característica onda de choque debida a la interacción con el viento solar. La rápida rotación de Júpiter arrastra parte del gas ionizado y lo concentra en el plano ecuatorial magnético. Las auroras observadas por las sondas se deben a la interacción del gas ionizado de Júpiter con las columnas de plasma de la órbita de Ío. Este satélite está conectado con los polos de Júpiter por corrientes de millones de amperios de intensidad.

El campo magnético de Saturno tiene una intensidad similar a la de la Tierra y por lo tanto es muy inferior al de Júpiter. La diferencia se debe probablemente a la menor extensión de las capas de hidrógeno metálico. También es distinta la inclinación del dipolo magnético respecto al eje de rotación, que en el caso de Saturno es de apenas 1°.

En Saturno, la magnetosfera se extiende también hasta más allá de las órbitas de sus satélites. La atmósfera de Titán (que emite moléculas ionizadas) crea una columna de hidrógeno que se extiende 700 km alrededor del satélite. En torno a Saturno hay un cinturón de hidrógeno y oxígeno ionizados, los cuales, al moverse a lo largo de las líneas de fuerza, alcanzan temperaturas de 500 millones de kelvin.

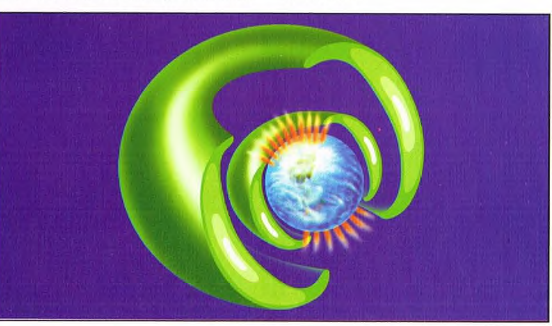
EL EXTRAÑO CASO DEL EJE MAGNÉTICO DE URANO

A comienzos de 1986, los científicos estaban a la espera de los primeros datos sobre el campo magnético de Urano. Esta información constituía el único modo de determinar la velocidad de rotación del planeta. En los planetas carentes de superficie sólida, un campo magnético generado internamente proporciona el único sistema de referencia fijo respecto al cual medir los movimientos atmosféricos.

Cinco días antes de la máxima aproximación al planeta, la sonda captó señales radioeléctricas y flujos de partículas cargadas que, como en los demás planetas, procedían directa o indirectamente de las partículas que se movían a lo largo de las líneas del campo magnético. La modulación de la emisión demostraba que el campo magnético de Urano estaba inclinado respecto al eje del planeta y que oscilaba mientras el planeta giraba.

El Voyager 2 atravesó la onda de choque de la magnetosfera el 24 de enero de 1986, sólo diez horas antes de la máxima aproximación al planeta. El mapa de la forma y la intensidad del campo magnético de Urano reveló que, contrariamente a lo previsto, no se trataba de un campo simple. En Urano, el imán del dipolo está inclinado 60° respecto al eje de rotación; un modelo puramente dipolar que se adapte a las observaciones aleja el imán del centro del planeta una distancia igual al 30% del radio del planeta. Para explicar estos extraños

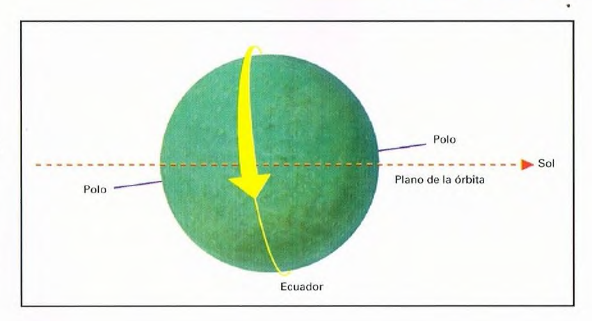
Algunas partículas del viento solar atraviesan el campo magnético y quedan atrapadas en regiones que rodean a los planetas. En la Tierra estas zonas se llaman cinturones de radiación de Van Allen.



fenómenos se han elaborado varias teorías, una de las cuales sostiene que la anómala inclinación del eje magnético del planeta está relacionada con el gran ángulo que forma el eje de rotación con el plano de la eclíptica. Según esta hipótesis, el interior de Urano, donde está situada la dinamo magnética, debería «conocer» la posición del Sol, que determina la órbita; podría ser que el interior del planeta estuviera influido por la atracción gravitacional diferenciada que ejerce el Sol. La atracción es mayor en el hemisferio iluminado que en el que está en sombra. No obstante, la explicación no es satisfactoria porque estos efectos de marea son demasiado pequeños (Urano está 19 veces más lejos del Sol que la Tierra) para poder ejercer una influencia apreciable sobre la región interior donde se halla la dinamo.

Otra idea consiste en suponer que en Urano se está produciendo una inversión del campo magnético, lo cual explicaría la inclinación del eje magnético y la lejanía del dipolo con respecto al centro del planeta. El fenómeno no es nuevo, ya que en la Tierra se han encontrado rocas que registran numerosas inversiones del campo magnético, si bien el intervalo de tiempo entre una polaridad y otra siempre es muy breve.

La magnetosfera de Urano se extiende hasta unos 590.000 km de altura por encima del hemisferio iluminado por el Sol. Además, esta región se difunde unos 6 millones de kilómetros por encima del hemisferio en sombra.

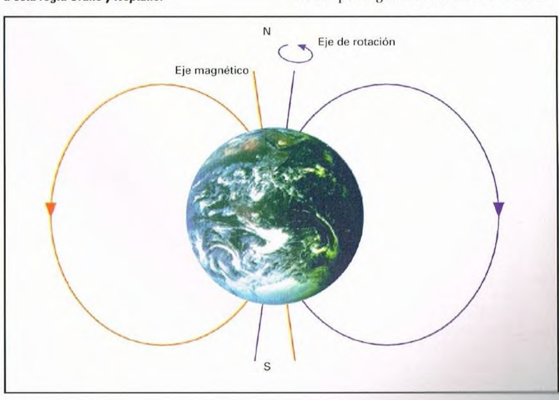


Urano es el único planeta cuyo eje de rotación se encuentra casi en el plano de la órbita. El eje de su campo magnético está inclinado 60° respecto al de rotación.

OTRA SORPRESA

También el campo magnético de Neptuno ha reservado algunas sorpresas. El eje del dipolo magnético está inclinado unos 50 grados respecto al eje de rotación y pasa a 10.000 km de distancia del centro del planeta. Este descubrimiento ha contribuido a esclarecer el problema del campo magnético de Urano, que presenta una inclinación similar. Dado que en los demás planetas el eje del dipolo magnético tiende a coincidir con el de rotación, se había supuesto que la anomalía de Urano era característica de este planeta.

Pero los nuevos descubrimientos sobre el campo magnético de Neptuno han obligado a descartar las explicaciones anteriores: el eje de rotación de Neptuno tiene una orientación normal, casi perpendicular al plano de la órbita, y la probabilidad de que los dos planetas se encuentren simultáneamente en una fase de inversión del campo magnético es realmente remota.



En gran parte de los planetas el ángulo entre el eje de rotación y el eje magnético no es demasiado grande; constituyen una excepción a esta regla Urano y Neptuno.

UNA POSIBLE EXPLICACIÓN

Un modo de explicar la anomalía que presentan estos dos planetas podría consistir en recurrir al llamado modelo del rotor oblicuo, propuesto para una determinada clase de estrellas caracterizadas por campos magnéticos «torcidos». La región de la dinamo está más cerca de la superficie que en los demás planetas. El mecanismo causante del fenómeno podría ser la convección de material eléctricamente conductor en el interior de una delgada cáscara esférica situada a poca distancia de la superficie. En la Tierra, en cambio, la convección se produce en el interior del núcleo de metal fundido. Urano contiene una gran cantidad de nitrógeno y agua, que se convierten en buenos conductores a presiones inferiores (y por lo tanto a profundidades menores) que el hidrógeno y el helio, los cuales dominan en los demás planetas gaseosos, como Júpiter y Saturno.

AURORAS EN NEPTUNO Y TRITÓN

La sonda Voyager 2 entró en la magnetosfera de Neptuno paralelamente a las líneas de fuerza convergentes, a las que siguió hasta el polo magnético. El recorrido no se había realizado previamente en ningún planeta, ni siquiera en la Tierra. Se observaron auroras polares en la atmósfera de Neptuno, pero se trataba de fenómenos extensos y difusos y no, como sucede en la Tierra, de fenómenos concentrados en zonas bien definidas en torno a los polos magnéticos.

También en Tritón se han observado auroras polares; parece ser que las partículas cargadas de los cinturones de radiación de Neptuno penetran en la atmósfera de Tritón con una energía suficiente para producir auroras ultravioletas.

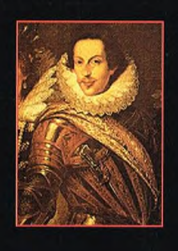
GALILEO Y EL ANTEOJO

La curiosidad que movió a Galileo a construir su anteojo y a apuntarlo hacia el cielo conmocionó el conocimiento de la época y cambió radicalmente la orientación de la astronomía. De las especulaciones teóricas se pasó a la práctica de la observación.

El 21 de agosto de 1609, el profesor Galileo Galilei, de la Universidad de Padua, mostró su anteojo a algunos senadores de la República de Venecia. Era poco más que un tubo de madera con dos pequeñas lentes en los extremos que aumentaban nueve veces. Grande fue el estupor de los representantes de la república al ver la basílica de Padua desde el campanario de la plaza de San Marcos. Galileo fue premiado inmediatamente: se le dobló el sueldo y fue confirmado con carácter vitalicio en su cargo de docente de la universidad.

Bien es verdad que la República Serenísima, en el apogeo de su poder comercial marítimo, estaba interesada en aplicaciones del invento de Galileo que poco tenían que ver con la astronomía. Pero en definitiva el científico se liberó de los problemas financieros y pudo dedicarse a su nuevo instrumento.

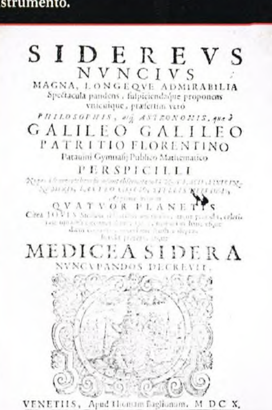
Cosme II de Médicis (a la derecha) fue Gran Duque de Toscana entre 1609 y 1621. Ferviente partidario de las ideas de Galileo, nunca dejó de proteger al científico. A pesar de ser más joven, murió 21 años antes que él. En su juventud, recibió su educación científica del propio Galileo. Durante su reinado se dedicó especialmente a la cultura, y dejó el Gran Ducado en manos de su madre, Cristina.



Durante su ulterior estancia en Padua, Galileo construyó un nuevo anteojo de veinte aumentos y lo apuntó al cielo. En pocas noches descubrió un universo completamente nuevo. Al cabo de pocos meses Galileo publicó sus descubrimientos en un libro titulado *Sidereus Nuncius*, el mensajero de las estrellas.

LAS PRIMERAS OBSERVACIONES

¿Qué había observado el científico? El primer objeto fue la Luna. Todos nosotros, que hemos visto las fotos de la superficie lunar tomadas por los astronautas, todavía nos emocionamos al ver por primera vez los cráteres lunares a través de un pequeño telescopio. No es de extrañar, pues, que fuera enorme la sorpresa de Galileo, que en 1609



SIDEREVS
NVNCIVS
MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA
Spectacula pandens, suspiciendaque proponens
vnicuique, praesertim vero
PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, quae à
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO
Patauini Gymnasij Publico Mathematico
PERSPICILLI
[illegible]
QVATVOR PLANETIS
[illegible]
MEDICEA SIDERA
NVNCVPANDOS DECREVIT.
VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M DC X.
[illegible]

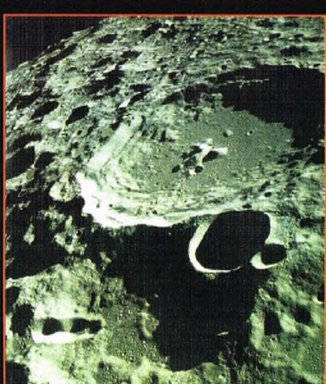
El Sidereus Nuncius, *publicado en Venecia el 12 de marzo de 1610, se agotó en pocos años: fue un auténtico éxito editorial, pero sobre todo una revolución científica. Toda Europa tuvo ocasión de descubrir un nuevo mundo, de hablar de los montes lunares y de discutir acerca de los cuatro nuevos planetas dedicados a los Médicis. De este modo, Galileo pudo utilizar el poder político de los Médicis para promocionar sus descubrimientos y ponerlos a salvo de la crítica de eventuales opositores, que estaban obligados a ser muy cautos. A cambio, Cosme II lo llamó a Pisa como matemático de la corte.*

Abajo, retrato del científico pisano Galileo Galilei, gran innovador de las disciplinas astronómicas.

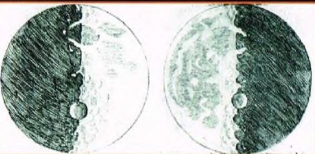




A la izquierda, imagen tomada por la sonda interplanetaria Galileo durante su viaje a Júpiter. La luz rasante pone claramente de manifiesto la elevación de los distintos sistemas montañosos. La Luna fue probablemente el primer objeto astronómico observado con un telescopio. Galileo realizó detallados dibujos de la superficie lunar, describiendo valles y montañas. En cambio, nunca mencionó los cráteres. La explicación de estas estructuras de la Luna fue más tardía. No obstante, Galileo refutó la creencia de que la Luna era un cuerpo perfectamente liso y esférico.



Esta foto de cráteres lunares de distintos tamaños fue tomada durante las misiones Apollo.

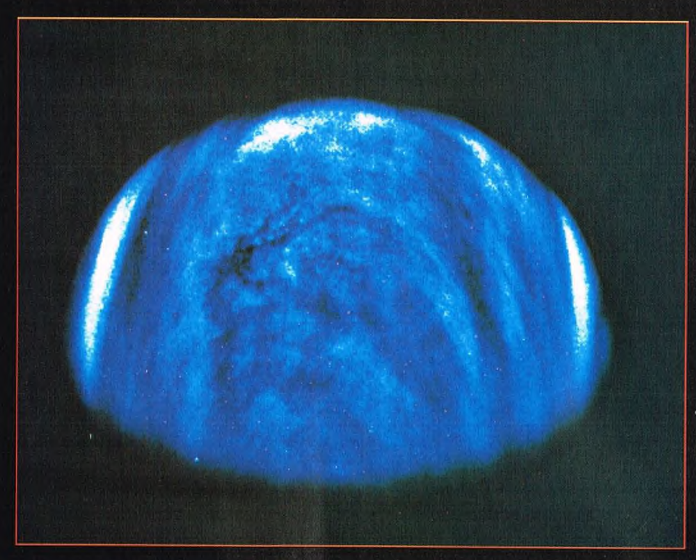


A la izquierda, un dibujo de Galileo que representa las fases lunares. La línea de demarcación entre la parte iluminada y la parte oscura, llamada terminador, es la zona en la que, en la Luna, sale o se pone el Sol. Como sucede en la Tierra, en estos dos momentos las sombras son alargadas y las vertientes de las montañas se encuentran mitad iluminadas, mitad a oscuras. En tales condiciones es mucho más fácil observar los relieves y detectar las zonas llanas. En el transcurso de las fases lunares, de la luna nueva a la luna llena, el terminador recorre toda la cara visible de la Luna y permite trazar un mapa de las montañas de todo el hemisferio. Galileo llegó también a medir la altura de algunas formaciones montañosas a partir de simples consideraciones geométricas.

todavía no había oído hablar de cráteres. ¡La Luna tenía montañas como la Tierra! La línea de sombra que se desplaza a través de la superficie a lo largo de las fases lunares permitía ver claramente las cadenas montañosas y los valles circulares (así llamaba Galileo a los cráteres) distribuidos por toda la superficie. Galileo dibujó a mano lo que observó y calculó la altura de las montañas y la extensión de las regiones llanas. Sus observaciones de la Luna poco después de la fase de luna nueva le permitieron descubrir el secreto de la luz cinérea. Se llama así la luz que se observa en la cara oscura de la Luna cuando muestra apenas una delgada hoz en el cielo. Galileo demostró que no era luz estelar ni luz del Sol. Su explicación fue que era la Tierra misma la que iluminaba la Luna. Los astronautas de las misiones Apollo presenciaron en directo el fenómeno del «claro de Tierra».

LA VÍA LÁCTEA, UNA MULTITUD DE ESTRELLAS

Después de la Luna le tocó al cielo estrellado. Por fin, una mirada nueva contemplaba las estrellas e iba más allá de las constelaciones. Galileo se aprestaba a dibujar la constelación de Orión, pero se encontró con un número enorme de nuevas estrellas que se hacían visibles. Ya no era posible contar las estrellas: «hay, en efecto, [...] más de quinientas». El físico se decidió a dibujar un mapa de la región de la nebulosa introduciendo decenas y decenas de nuevas estrellas. El grupo de las Pléyades reveló cuarenta nuevas estrellas. Era un infinito que se abría ante sus ojos. Galileo apuntó el anteojo a la



La fotografía de la izquierda, tomada por la sonda Galileo, muestra nubes en las bandas superficiales de Venus. El planeta tiene una atmósfera que impide ver la superficie a través de telescopios ópticos. La sonda Magallanes ha realizado un mapa de los relieves de la superficie rocosa de Venus mediante técnicas de radar.

Los planetas que recorren órbitas más internas que la de la Tierra exhiben el fenómeno de las fases (abajo a la izquierda). Como en el caso de la Luna, los planetas Venus y Mercurio nos muestran a veces la cara iluminada y a veces la cara en sombra. Mercurio, de reducido tamaño, es difícilmente observable con un pequeño anteojo como el que utilizó Galileo. Venus, en cambio, tiene un tamaño similar al de la Tierra. Su órbita lo lleva muy cerca de nosotros cada 584 días; en tales ocasiones, el diámetro aparente de Venus es mucho mayor que de costumbre; el planeta tiene entonces una forma de hoz análoga a la de la Luna después de la luna nueva.

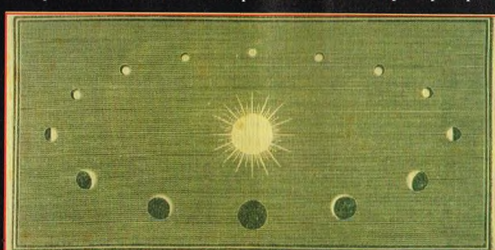
El dibujo de abajo muestra los esbozos de Galileo y su explicación del fenómeno de las fases de Venus: es inmediata la conclusión de que el planeta debe girar alrededor del Sol y que la Tierra debe recorrer una órbita más alejada. Con estas observaciones, la teoría copernicana recibió uno de los apoyos más contundentes.

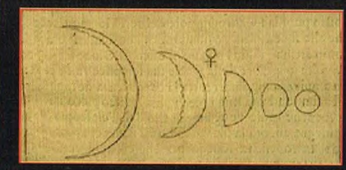
Vía Láctea. Esta franja blanquecina (que cada vez es más difícil de ver en nuestro mundo contaminado por luces artificiales) se reveló como «una multitud de estrellas, diseminadas por todas partes». Se acababa la época del pequeño cosmos geocéntrico y se abría el camino al descubrimiento de las galaxias.

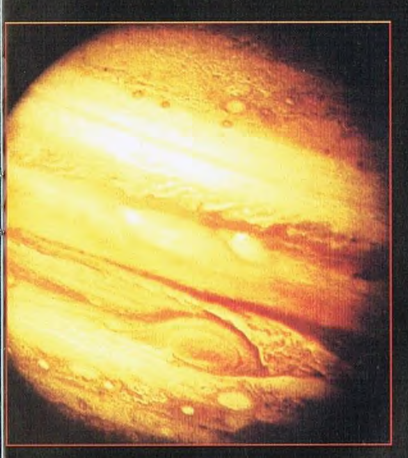
El 7 de enero de 1610, Galileo, con su nuevo instrumento de treinta aumentos, observó Júpiter y advirtió que junto al planeta había cuatro estrellitas, pequeñas pero muy luminosas, dos a la izquierda y dos a la derecha. Al día siguiente las estrellitas aparecieron en posiciones diferentes respecto al planeta: Galileo pensaba todavía que eran estrellas del fondo sobre el cual se movía Júpiter, si bien aquel día tenían que haberse desplazado en sentido contrario. Tras dos noches nubosas, Galileo confirmó sus suposiciones durante la tercera: Júpiter se había movido en dirección contraria y dos estrellitas seguían estando a su izquierda. Había una sola conclusión posible: las estrellas no eran fijas, sino que se estaban moviendo alrededor del planeta. Caía así otra objeción planteada por los partidarios del antiguo régimen tolemaico, quienes sostenían que era imposible pensar en una Tierra que girara alrededor del Sol porque en tal caso habría abandonado las proximidades de la Luna. Galileo demostró que existía al menos otro planeta que, mientras recorría su órbita, arrastraba a sus lunas. Era Júpiter con sus cuatro satélites mediceos.

LAS REACCIONES

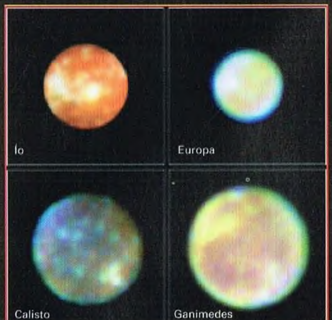
Fue el momento de mayor éxito para Galileo Galilei. La noticia de sus descubrimientos dio la vuelta a Europa. Kepler, que acababa de publicar la teoría de las órbitas elípticas, quedó entusiasmado. Sus restos de escepticismo (propios de un verdadero







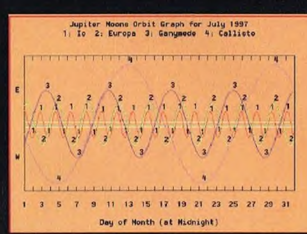
El planeta Júpiter (a la izquierda) es el mayor de nuestro sistema solar. Alrededor de él orbitan decenas de satélites, de los cuales los cuatro primeros fueron descubiertos por Galileo. Estas lunas, llamadas Ío, Europa, Calisto y Ganimedes, son las más luminosas y bastan unos pequeños prismáticos para observarlas junto a Júpiter. Galileo dedicó su descubrimiento a Cosme II de Médicis, Gran Duque de Toscana. La primera idea de Galileo fue llamarlos astros cósmicos, en honor del Gran Duque, pero éste prefirió utilizar el nombre de la familia. Desde entonces, estos cuerpos se conocen con el nombre de astros mediceos o galileanos. En los dibujos de Galileo figuran dibujos de Júpiter con las posiciones constantemente cambiantes de sus satélites. Se dispuso así de una prueba irrefutable de la existencia de astros que orbitaban alrededor de un cuerpo distinto de la Tierra.



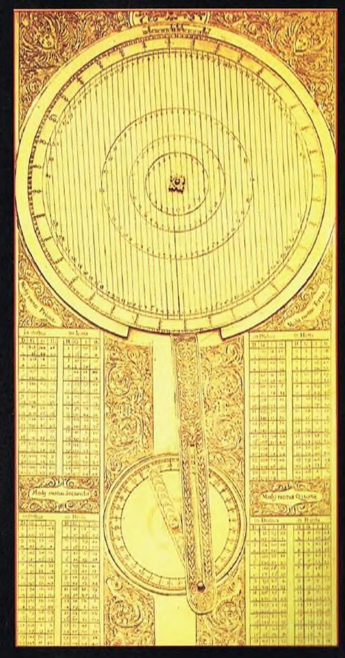
En estas cuatro imágenes, tomadas por el telescopio espacial Hubble, se ven los satélites galileanos, cuya diversidad se aprecia por la diferencia de colores. Ío, el más próximo a Júpiter, tiene un color rojizo y su superficie está recubierta de volcanes activos.

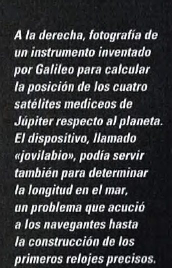
científico) se desvanecieron cuando pudo observar los satélites de Júpiter con un anteojo que le regaló Galileo. Poco tiempo después, incluso Clavius, jesuita y jefe de los astrónomos del papa, consiguió ver Júpiter y las montañas de la Luna a través de un anteojo. Galileo fue llamado a Roma para hablar de sus descubrimientos. El éxito fue inmediato y Galileo llevó al colegio de astrónomos, cardenales y príncipes romanos un nuevo descubrimiento: las fases de Venus.

«Cyntiae figuras aemulatur mater amorum.» Con esta frase anagramada (la madre de los amores se comporta como Diana, o Venus muestra las mismas figuras, las mismas fases, que la Luna) había anunciado ya Galileo a Kepler su descubrimiento. Ahora, cuando las nuevas observaciones le dieron la razón, Galileo deshizo el anagrama y pudo llevar a Roma su nueva maravilla. Clavius, a petición del papa, confirmó las nuevas observaciones de Galileo, aunque sin sacar de ellas

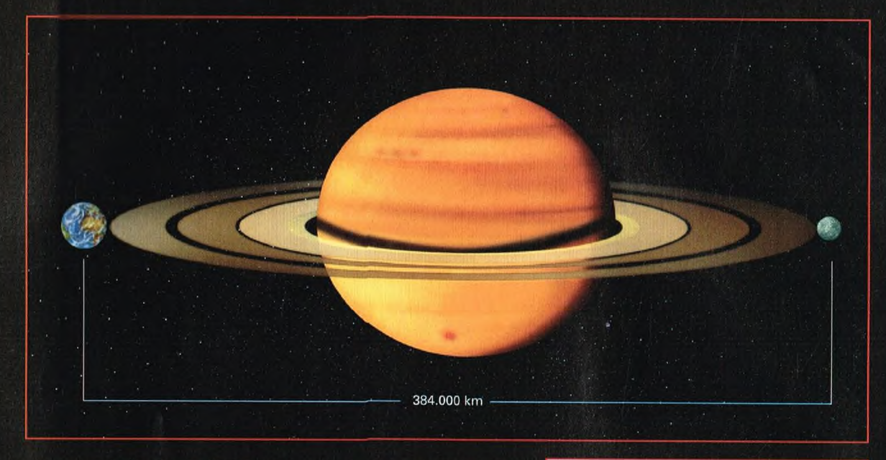


Actualmente, las posiciones de los satélites se prevén con gran exactitud. El gráfico de arriba muestra la configuración día a día durante el mes de julio de 1997; como si de un sistema solar en miniatura se tratara, las órbitas más pequeñas son recorridas más velozmente.





A la derecha, fotografía de un instrumento inventado por Galileo para calcular la posición de los cuatro satélites mediceos de Júpiter respecto al planeta. El dispositivo, llamado «jovilabio», podía servir también para determinar la longitud en el mar, un problema que acució a los navegantes hasta la construcción de los primeros relojes precisos.



ninguna conclusión. Pero Galileo sí había sacado la conclusión correcta: sólo la teoría copernicana podía explicar los fenómenos observados por él.

UN PERÍODO DIFÍCIL

Así comenzaron los años difíciles para Galileo Galilei, sexto miembro de la Academia de los Linces. La vieja guardia de los docentes universitarios no pudo soportar que aquel nuevo tipo de ciencia les pusiera en entredicho a ellos y a su pasado. Al no poder vencer, obviamente, en el plano científico, trasladaron la pugna al terreno religioso y encontraron en la Iglesia de Roma, entonces en plena Contrarreforma, un inevitable defensor de su causa. Partiendo de los ulteriores estudios de Galileo sobre la presencia de manchas en el Sol, que hicieron que el astro se alejara cada vez más del cuerpo perfecto que debía ser según la doctrina tolemaica aprobada en el Concilio de Trento, los adversarios de Galileo le obligaron a desplazarse a su terreno. Se le pidió que reconociera que la teoría de Copérnico no era más que una hipótesis matemática que simplificaba los cálculos. Galileo se vio obligado a defender a la vez su propia ciencia y la religión católica. Trató de convencer a la Iglesia de que las dos cosas no entraban en contradicción y que el experimento científico nada tenía que ver con la obra divina. Pero fue en vano: a Galileo se le prohibió defender las ideas de Copérnico.

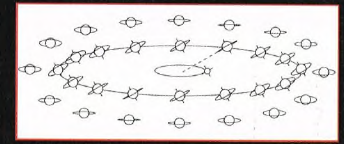
LA VIOLENTA OPOSICIÓN DE LA IGLESIA

El último acto tuvo como protagonista al nuevo papa Urbano VIII, amigo y defensor de Galileo. El científico recobró el ánimo. Pidió, y obtuvo, que se le dejara publicar un libro en el que las dos teorías, la tolemaica y la copernicana, se discutían como hipótesis posibles. El nuevo libro, el *Diálogo sobre los dos máximos sistemas*, estaba dedicado al papa.

La imagen de arriba pone de manifiesto que los anillos de Saturno se extienden a lo largo de cientos de miles de kilómetros, llenando un espacio casi igual a la distancia Tierra-Luna (imagen NASA-JPL).

Las observaciones de Saturno por parte de Galileo (a la derecha, arriba) no fueron tan afortunadas como las de Júpiter. El científico no podía siquiera sospechar que hubiera cuerpos tan alejados de la forma esférica como los anillos de Saturno. Galileo describió el planeta como tricorpóreo, esto es, formado por tres cuerpos separados. Su telescopio no era lo bastante potente para ver nítidamente el espectáculo de los anillos.





Sólo 45 años después de Galileo, el astrónomo Christian Huygens, gracias a un telescopio de mayor tamaño, anunció la existencia del sistema de anillos y explicó su invisibilidad cada 10 años (es la posición de perfil indicada en la figura de arriba).

Sin demasiada dificultad, los adversarios de Galileo convencieron al papa de que en el libro se presentaba al defensor de la teoría tolemaica como un idiota, caricatura del propio Urbano VIII. Aunque todo ello estaba muy lejos de las intenciones de Galileo, la Iglesia se impuso con toda su fuerza y exigió obediencia al científico. El 22 de junio de 1633, Galileo vistió la túnica de penitente ante los jueces de la Inquisición y abjuró, declarando que ya no creía en las ideas que había defendido toda su vida.

Galileo envejeció y enfermó, y Cosme II de Médicis murió. La Inquisición era tristemente famosa por sus métodos crueles, que llegaban a la tortura física.



A la izquierda, el cúmulo abierto de las Pléyades, catalogado más tarde por Charles Messier como M45, tal como aparece en una fotografía moderna (imagen grande) y tal como lo dibujó Galileo (imagen pequeña). El uso de un sistema óptico como soporte de la vista permite ver objetos más débiles. La capacidad de un telescopio, de unos prismáticos o de un anteojo para incrementar la luminosidad de los astros es debida al hecho de que la lente principal (el objetivo, que en los telescopios modernos es un espejo) tiene un área mayor que la pupila del ojo humano (unos 0,5 cm de diámetro). Los objetivos de los telescopios de Galileo tenían diámetros de 3 o 4 cm y producían aumentos de 5 a 9, comparables a los de los prismáticos más pequeños de hoy en día. A pesar de todo, la cantidad de estrellas que Galileo podía ver era enorme comparada con la perceptible a simple vista.



Las manchas solares son zonas de la superficie de nuestra estrella con una temperatura ligeramente inferior al resto. Se pueden observar como zonas más oscuras dispersas por el disco solar. Las mayores son perceptibles incluso a simple vista cuando las condiciones lo permiten, por ejemplo cuando la luz del Sol en el ocaso es atenuada por una capa de nubes. Galileo las observó por primera vez en 1610 con un anteojo. Las teorías de aquel tiempo postulaban un Sol perfecto, carente de manchas; se suponía que éstas eran pequeños planetas que pasaban por delante del Sol. Galileo rebatió estas hipótesis mostrando cómo cambiaba la posición de las manchas con el paso de los días y demostró que el Sol también gira sobre sí mismo, exactamente como preveía para la Tierra la teoría copernicana.



Todos los amigos de Galileo le aconsejaron que abjurase, aunque fuera contra su propia conciencia.

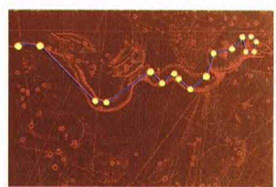
El científico pasó sus últimos años confinado en su domicilio, cada vez más enfermo y, por último, completamente ciego. No obstante, escribió su último libro, *Discurso en torno a dos nuevas ciencias,* que publicó clandestinamente en el extranjero. Murió solo, aislado de sus contemporáneos, pero consciente de haber sembrado una semilla que cambiaría la cultura de toda la humanidad.

FECHAS IMPORTANTES

1564 Galileo nace en Pisa el 15 de febrero.
1589 Obtiene la cátedra de matemáticas de la Universidad de Pisa.
1592 Se traslada a la Universidad de Padua.
1609 Explica el movimiento de los proyectiles como un movimiento parabólico. Construye el primer anteojo y realiza los primeros descubrimientos astronómicos.
1610 Publica el *Sidereus Nuncius* y vuelve a Florencia llamado por Cosme II de Médicis.
1611 Viaja a Roma para mostrar sus descubrimientos a los príncipes de la Iglesia.
1615 Primera denuncia de Galileo por parte del dominico Lorini.
1616 Galileo recibe una advertencia y es obligado a «no profesar, defender o enseñar» las teorías copernicanas.
1623 Urbano VII llega al papado y Galileo publica *El Ensayador.*
1632 Galileo obtiene el *imprimatur* y publica el *Diálogo sobre los dos máximos sistemas,* escrito en 1630.
1633 El 12 de abril Galileo abjura ante el Santo Oficio.
1642 Muere en Arcetri, cerca de Florencia, el 8 de enero.
1687 Newton publica los *Principia,* donde reciben sistematización matemática las teorías de Copérnico y las observaciones de Galileo.
1736 Traslado del cuerpo de Galileo a la tumba de la iglesia de la Santa Cruz de Florencia.
1992 La Iglesia de Roma rehabilita solemnemente a Galileo Galilei y admite los errores del Santo Oficio.

LA HIDRA

En el zoo astronómico ideado por los antiguos figura la mitológica Hidra, a caballo del ecuador celeste.



La Hidra, o serpiente marina, suele representarse en los atlas celestes con una sola cabeza.



La Hidra es probablemente una constelación poco conocida por la mayoría, debido sobre todo a sus estrellas relativamente poco luminosas. Sin embargo, se trata de una de las constelaciones más extensas de la bóveda celeste y seguramente la más larga: abarca más de seis horas de ascensión recta, con un ángulo de más de 100°.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

La parte más fácilmente reconocible de la constelación es la cabeza, constituida por un grupo de seis pequeñas estrellas situadas a unos 20° en dirección suroeste respecto a Régulo, la estrella más brillante de la vecina constelación de Leo.
En el lomo de la Hidra están las constelaciones del Cuervo, de la Copa y del Sextante; la cabeza del monstruo mitológico está a poco más de 15° a occidente de Alfa del Sextante.

ESTRELLAS PRINCIPALES

La estrella principal de la Hidra es Alfa (magnitud 2), conocida también como Alphard, que significa «la solitaria». Este astro, que se encuentra en el corazón de la Hidra celeste, es una estrella anaranjada que dista unos 90 años luz de nosotros.
El sistema de Épsilon constituye un par de estrellas de distinto color, amarillo y azul. Las componentes tienen magnitudes de 3,8 y 5,3 y tardan 15 años en completar una órbita la una alrededor de la otra. Por desgracia, su separación es de sólo 0,2'', por lo que únicamente pueden resolverla los telescopios profesionales. Existe también una tercera componente (magnitud 7,8), al alcance de los instrumentos de aficionados, que está a 2,7'' del par principal. El período es de unos 890 años. Hay una cuarta componente, debilísima, a unos 20''.

La constelación de la Hidra contiene una variable similar a la estrella Mira de la constelación de la Ballena. Se trata de R, una estrella gigante roja que pasa de magnitud 3,5 a magnitud 10,9 en 389 días, un período que se está acortando.



M83, una luminosa galaxia espiral de la constelación de la Hidra, es una de las más cercanas a la Vía Láctea.

R tiene una pequeña compañera, de magnitud 12, a una distancia de unos veinte segundos de arco.

OBJETOS DE LA HIDRA

En la Hidra encontramos algunos objetos del catálogo de Messier.

M48 es un cúmulo abierto que está en el límite de la percepción a simple vista. Está formado por unas pocas decenas de estrellas y se aprecia mejor con unos prismáticos.

M68, un objeto de octava magnitud, pertenece a la categoría de los cúmulos globulares.

También es de octava magnitud M83, una bellísima galaxia espiral, visible casi de frente. Se cree que su distancia a nosotros es de unos ocho millones de años luz.

Dentro de los límites de la constelación se encuentran muchos objetos del catálogo NGC, entre ellos numerosas galaxias. Merece una ojeada al telescopio la nebulosa planetaria NGC 3242; se trata de un disco luminoso de novena magnitud, con un diámetro de unos cuarenta segundos de arco y de color verdoso. En el centro de la nebulosa hay una pequeña estrella de magnitud 11 que ha generado el objeto por expulsión de sus capas más externas. Por tanto, el pequeño astro que vemos es el núcleo caliente de lo que una vez fue una estrella como las demás.

También es digno de mención NGC 5694, un cúmulo globular lejanísimo (magnitud 11), distante de nosotros unos 120.000 años luz. Para hacerse una idea de lo grande que es esta distancia, téngase presente que el diámetro de la Vía Láctea es igual a unos 100.000 años luz.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

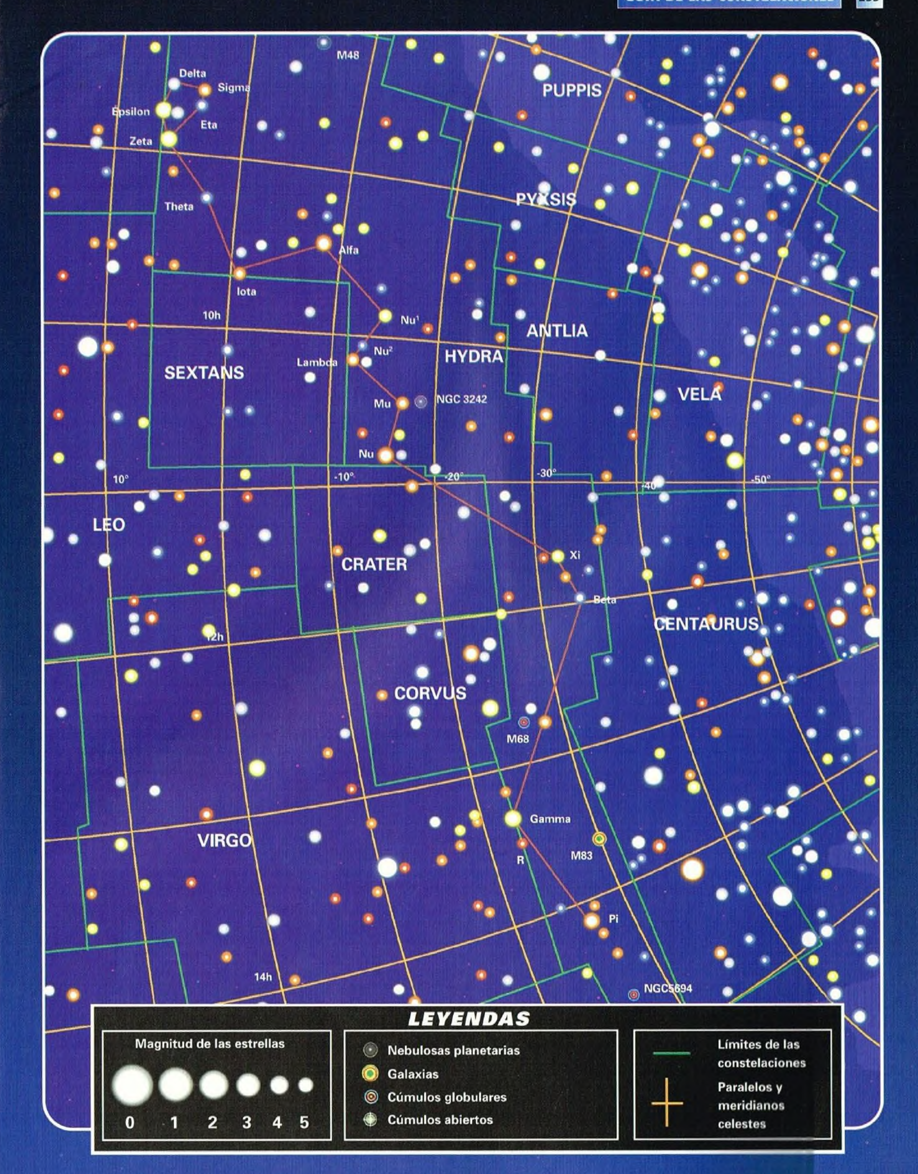
LA HIDRA

La constelación de la Hidra está ligada a dos mitos antiguos. El primero es el del cuervo, enviado por Apolo a recoger una copa llena de agua. El ave volvió con retraso y, mintiendo, atribuyó al monstruo marino la causa de su falta. Apolo, airado, relegó a los protagonistas de la historia al cielo en forma de constelaciones. En la segunda leyenda aparece una hidra de muchas cabezas enfrentada a Hércules en uno de sus doce trabajos. El terrible monstruo tenía la increíble capacidad de regenerar cada cabeza que se le había cortado con otras dos, aumentando así su peligrosidad. Hércules consiguió darle muerte cortándole la cabeza y quemándole el cuello, impidiendo así la regeneración de las cabezas.

DÓNDE BUSCARLA

LA HIDRA

Dada su notable extensión en ascensión recta (8 horas 10 minutos-15 horas), la constelación de la Hidra es visible durante gran parte del año. Al estar a caballo sobre el ecuador celeste, la Hidra es observable, total o parcialmente, desde toda la Tierra, aunque sólo la cabeza despunta a declinaciones positivas, mientras que la mayor parte de las estrellas se encuentran a declinaciones negativas (7° N-35° S).


M48
Delta
Sigma
Epsilon
Eta
Zeta
PUPPIS
Theta
PYXSIS
Alfa
Iota
10h
Nu¹
ANTLIA
Nu²
Lambda
HYDRA
SEXTANS
VELA
Mu
NGC 3242
Nu
10°
-10°
-20°
-30°
-40°
-50°
LEO
Xi
CRATER
Beta
CENTAURUS
12h
CORVUS
M68
Gamma
VIRGO
M83
R
Pi
14h
NGC5694
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Nebulosas planetarias
Galaxias
Cúmulos globulares
Cúmulos abiertos
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

EL COLOR DE LOS OBJETOS CELESTES

El universo en que vivimos es rico en colores, desde el rojo de Marte al azul de Neptuno y al amarillo oro de ciertas estrellas. Esta riqueza tiene varias causas; en ciertos casos, también el ojo desempeña un papel importante.



Al observar de noche los objetos celestes, posiblemente con la ayuda de un instrumento óptico, como unos prismáticos o un telescopio, podremos apreciar una gran variedad de colores.

En la Tierra, el color de un objeto depende de la propiedad que posee éste de reflejar las distintas longitudes de onda que componen la luz visible. En el espacio, podemos dividir los astros en dos categorías: los que reflejan la luz incidente, que tienen un comportamiento análogo a los objetos de la Tierra, y los que emiten luz.

CUERPOS REFLECTORES: LOS PLANETAS

A la primera categoría de objetos pertenecen los planetas, que no brillan con luz propia, sino que reflejan la del Sol. Observados a simple vista, los planetas muestran una discreta variedad de colores que revelan las imágenes tomadas por los telescopios y por las sondas que han pasado por sus proximidades. Todos sabemos que Marte tiene un característico color rojo debido a la presencia en su superficie de óxidos ferrosos similares a la herrumbre. En cambio, la Tierra, observada desde el espacio, muestra una bella coloración azul debida a la atmósfera, que difunde la longitud de onda correspondiente a este color más intensamente que las demás.

Otros planetas, como Júpiter y Saturno, tienen una gran riqueza de colores debida a la diversa composición de las nubes que los rodean. En el caso de estos dos gigantes, se cree que el color marrón deriva de compuestos nitrogenados presentes en las capas de nubes más frías. La coloración de estos objetos celestes, por tanto, está determinada por la composición química de lo que se encuentra en su superficie.

CUERPOS QUE EMITEN LUZ: ESTRELLAS Y NEBULOSAS

Un gran número de objetos celestes emiten luz propia: entre ellos hay que mencionar ante todo las estrellas y las nebulosas.

La gran riqueza de colores que vemos en la Tierra se reproduce en el cielo, aunque con una notable diferencia: mientras que los colores que vemos en nuestro planeta se deben esencialmente a la naturaleza de la luz solar y a la composición de los objetos iluminados, en la mayor parte de los cuerpos celestes el color es una característica intrínseca de la luz que emiten.

Los mecanismos que generan la luz pueden ser muy distintos, lo cual repercute en la variada coloración de los astros.

Las estrellas son cuerpos de elevada temperatura superficial. Las regiones más externas de una estrella son mucho más frías que el núcleo, pero suficientemente calientes para que el gas de la superficie brille como un cuerpo incandescente. En este caso, el color está determinado por la temperatura: análogamente a lo que ocurre con un objeto metálico calentado por una llama, a medida que la temperatura va creciendo el color pasa del rojo al amarillo, al blanco y al azul, que corresponde



Durante los eclipses de Sol podemos ver las protuberancias, chorros de gas incandescente de color rojo. Éste es el color de la cromosfera (esfera de color), normalmente inobservable a simple vista debido a la intensa emisión de la capa situada debajo, la fotosfera, que confiere a nuestra estrella un color más amarillo.

a las estrellas de mayor temperatura superficial. El intervalo puede ser considerable, desde los 6.000 K del Sol, una estrella amarilla, hasta los 100.000 K de las estrellas más calientes.

Si observamos el cielo de noche con un telescopio, podremos ver algunos objetos de contornos poco definidos, las nebulosas. La mayoría son gigantescas extensiones de gas, sobre todo hidrógeno. Se puede preguntar entonces por el mecanismo que permite a estos objetos brillar, siquiera débilmente.

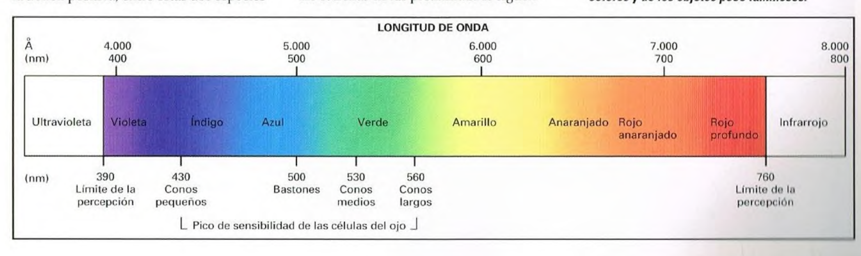
Cerca de las nebulosas, cuando no dentro, hay estrellas nacidas en su interior. Algunas se han formado recientemente y son muy masivas. Las estrellas masivas jóvenes son muy calientes y emiten una gran cantidad de rayos ultravioleta que son absorbidos por el gas de la nebulosa. Los rayos ultravioleta expulsan electrones de los átomos de la nebulosa y transforman estos últimos en iones. Como los electrones tienen carga eléctrica negativa y los iones la tienen positiva, entre estas dos especies de partículas existe una fuerza atractiva que les permite recombinarse. En el proceso de recombinación se emiten fotones de distinta energía; la recombinación lleva los electrones a un estado excitado, por lo cual tienden a caer hacia estados de energía mínima. Durante la caída de los electrones hacia estos estados de energía mínima se produce una ulterior emisión de fotones luminosos de energía bien determinada que son los causantes del color de la nebulosa. Cuando observamos una nebulosa, como por ejemplo la que se encuentra en la «espada» de Orión, vemos la luz emitida por los átomos que la componen en el proceso de desexcitación que sigue a la recombinación del gas. Como las estrellas de las proximidades siguen emitiendo radiación ultravioleta, se producen ininterrumpidas ionizaciones que permiten que prosiga el proceso recién descrito.



La nebulosa de Orión aparece roja en la mayor parte de las fotografías. En cambio, si se observa con un telescopio o unos prismáticos, se muestra de color verdeazulado.

En el caso de los cometas, el mecanismo es distinto: un gran cometa que pase cerca del Sol, como por ejemplo el Hale-Bopp, muestra la presencia de dos colas de distinto color. El fenómeno es debido a la distinta composición de las colas. La cola de polvo es más blanca, o amarillenta, porque refleja la luz del Sol que la ilumina; la segunda cola, formada por gas,

Podemos considerar la luz como un conjunto de ondas de distinta frecuencia o longitud de onda; cada frecuencia corresponde a un color diferente. No todas las células del ojo tienen la misma sensibilidad a los colores. En el esquema vemos las zonas de sensibilidad de los conos y los bastones, células encargadas, respectivamente, de la percepción de los colores y de los objetos poco luminosos.





La nebulosa NGC 7293, conocida también con el nombre de Hélice (Helix), muestra distintos colores en su interior. Como todas las nebulosas gaseosas, la NGC 7293 brilla por luminiscencia; el color rojo lo produce el hidrógeno, y el verde se debe al oxígeno.

es de color azul porque emite luz por fluorescencia, como las nebulosas descritas anteriormente.

¿CÓMO VE EL OJO HUMANO?

Lo dicho hasta ahora tiene que ver con el aspecto de la luz que parte de un cuerpo celeste. Hay que tener presente, sin embargo, el papel del detector que recoge esta luz.

Cuando observamos el cielo directamente o a través de un telescopio, el detector es nuestro ojo y hay que tener en cuenta su «sensibilidad espectral», esto es, la respuesta de la retina a los distintos colores, para saber si los colores que vemos se corresponden más o menos con la realidad.

Nuestro ojo no se comporta igual en condiciones de buena iluminación que en condiciones de escasa iluminación.

Cuando observamos un paisaje en pleno día, podemos apreciar toda la riqueza de matices de color gracias a ciertas células que componen la retina (la parte sensible del ojo), llamadas «conos» por su forma característica. Los conos pueden captar los colores y mandar al cerebro señales que permiten reconstruir las distintas coloraciones de lo que estamos mirando. En cambio, si entramos en una habitación oscura, en la cual penetre poca luz, tendremos la sensación de que todo es gris. El motivo reside en el hecho de que los conos sólo pueden «trabajar» si llega una cantidad suficiente de luz; de lo contrario entra en juego un tipo distinto de sensores más adaptados para captar la escasa luz que penetra en nuestro ojo pero incapaces de distinguir las diferentes longitudes de onda contenidas en ella. Este segundo tipo de células son los «bastones», así llamados también por su forma. El proverbio «De noche todos los gatos son pardos» tiene, pues, un cierto fundamento, debido a la distinta sensibilidad a los colores en condiciones de escasa iluminación.

Esto explica por qué de noche es más difícil percatarse de los colores de los objetos.

LOS COLORES DE LAS FOTOGRAFÍAS

Si observamos a simple vista la nebulosa de la espada de Orión, veremos que tiene un color verdoso, mientras que en la mayor parte de las fotografías se advierte una coloración inequívocamente roja. Esta notable diferencia se explica en parte por la distinta sensibilidad de las películas fotográficas y del ojo humano, pero también por el hecho de que en condiciones de poca luminosidad el ojo es más sensible al verde que al rojo.



En el ocaso, el Sol parece rojo porque su luz debe atravesar capas atmosféricas más gruesas. Se dispersan las longitudes de onda más cortas, que producen el color azul del cielo, pero también otras mayores, con el resultado de que el Sol parece colorearse de rojo. El mismo fenómeno tiene lugar en el caso de la Luna, pero de un modo menos acentuado.

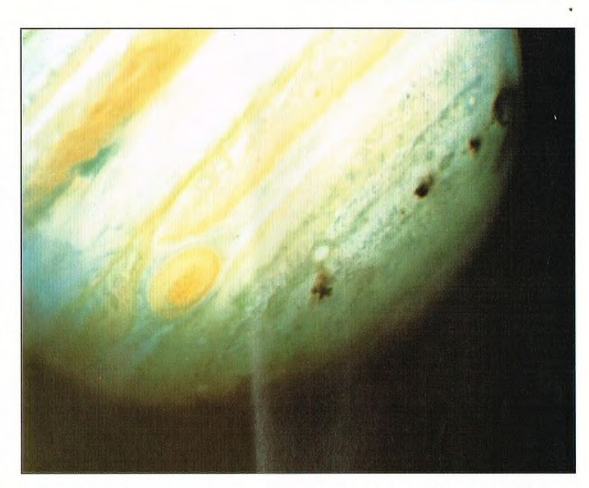
El fenómeno se conoce como «efecto Purkinje» en honor del científico ruso que lo descubrió.

Para explicar el efecto Purkinje hay que tener en cuenta la distinta sensibilidad a los colores de los conos y los bastones. Los primeros se presentan en tres variedades distintas, sensibles respectivamente al amarillo, al verde y al índigo-violeta; los segundos son de un solo tipo, sensible al azul. Cuando realizamos observaciones con poca luz, los bastones refuerzan las imágenes de los objetos azules, a los que son más sensibles, y penalizan los objetos rojos.

La distinta composición de conos y bastones en la retina permite explicar también por qué los objetos débiles, como las nebulosas, aparecen más luminosos cuando los miramos «de lado» que cuando lo hacemos de frente: la razón reside en el



Los distintos colores de las estrellas son debidos a sus diferentes temperaturas superficiales. Las estrellas rojas tienen una superficie más fría que las amarillas o blancas.



Los colores de las nubes de Júpiter son debidos a su composición química.

hecho de que habitualmente enfocamos las imágenes en la fóvea, una zona de la retina rica en conos, muy adaptada a la observación diurna. No obstante, la fóvea carece casi por completo de bastones, por lo que la observación de objetos débiles con la parte usual del ojo resulta ineficaz. En las zonas que rodean la fóvea, en cambio, encontramos muchos bastones, que perciben más fácilmente los objetos elusivos.

Hay otro factor a tener en cuenta en la observación de las estrellas: dos estrellas próximas con colores contrastados se ven mucho más «coloreadas» que si se observan separadamente. En cierto sentido es como si nuestro cerebro comparara las dos y resaltara sus diferencias.

Precisamente porque los receptores del color son tanto más eficaces cuanto mayor es la iluminación, el uso de instrumentos astronómicos permite mejorar la visión de los colores de las estrellas. Los telescopios y los prismáticos recogen mucha más luz que la pupila humana.

EL COLOR DE LAS PELÍCULAS

Como ya se ha dicho, las fotografías de la nebulosa de Orión muestran este objeto mucho más rojo de lo que aparece cuando se observa directamente con el telescopio. Las películas de color están formadas por varias capas de emulsiones sensibles a los distintos colores. En la mayoría de los casos, las capas sensibles al rojo son dominantes, sobre todo en las películas adaptadas a la fotografía con luz natural. La situación es distinta en el caso de las películas que se utilizan con luz producida por lámparas fluorescentes.

OTROS DETECTORES: LOS CCD

El ojo y las películas son los detectores más utilizados por los aficionados, pero cada vez se emplean más los sensores electrónicos, como las cámaras CCD. Se trata de los instrumentos más usados en el campo profesional, donde han desplazado casi por completo a las viejas placas fotográficas y a la observación directa.

Los modernos detectores electrónicos tienen una sensibilidad diferente que las películas y el ojo humano y permiten «ver» objetos celestes a distintas longitudes de onda. Sin embargo, su respuesta consiste en la generación de una corriente eléctrica, que no permite en modo alguno recrear la sensación del color. ¿Cómo es posible, entonces, obtener imágenes coloreadas por medio de cámaras CCD? Lo que se hace es superponer varias imágenes del mismo objeto tomadas con filtros coloreados: cada imagen, gris, se colorea artificialmente con el mismo color que el filtro con el cual se ha obtenido. Luego se añade a las demás, que han sufrido el mismo tratamiento. El resultado es una fotografía en color.

Por tanto, en la percepción del color de los objetos que pueblan la esfera celeste no importa sólo la calidad de la luz que llega a nosotros, sino también el sensor que la recoge.

En el caso del ojo humano hay que tener en cuenta que la sensibilidad a los colores cambia según que se observe en presencia de una buena cantidad de luz o en la oscuridad, como sucede de noche. La gran sensibilidad al color verde en condiciones de escasa iluminación permite comprender también por qué, cuando hay que utilizar una luz que ayude en las observaciones, conviene que ésta sea roja. Este color sensibilizará menos fácilmente la retina y reducirá el deslumbramiento.



CÓMO PERCIBIMOS LOS COLORES EN LA OSCURIDAD

Entremos en una habitación que esté casi completamente a oscuras; los colores serán percibidos con dificultad por nuestros ojos o no serán percibidos en absoluto. La explicación reside en que, para poder trabajar eficazmente, las células de la retina encargadas de la percepción de los colores necesitan mayor cantidad de luz.





EL PROYECTO CLUSTER

Un proyecto ambicioso para conocer mejor la influencia del Sol sobre la Tierra y por tanto sobre nuestra vida. Se trataba de poner en órbita un «puñado» de satélites capaces de verificar simultáneamente las características del campo magnético terrestre bajo la influencia de las partículas procedentes del Sol. Un sueño fracasado a causa del incidente del Ariane-5. Pero tal vez no todo está perdido...



El fracaso del primer lanzamiento del Ariane-5, el 4 de junio de 1996, significó la destrucción de una excepcional carga científica constituida por cuatro satélites Cluster construidos por la Agencia Espacial Europea (ESA). Estos satélites tenían como misión el estudio de las complejas relaciones entre el Sol y la Tierra. En 1997 se ha discutido la conveniencia de reanudar el programa. Algunas indicaciones permiten esperar que así sea.

LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA CONFIADA A LOS SATÉLITES

El Sol se encuentra en el centro de nuestro sistema planetario; su calor y su luz están en la base de la vida en nuestro planeta. Pero si la Tierra no estuviera rodeada por una envoltura especial, la radiación solar y las partículas que fluyen del Sol destruirían la vida en un santiamén. Uno de estos flujos solares es el «viento solar», conjunto de electrones, protones y iones emitidos por la corona solar que forma el «plasma» que se mueve hacia la Tierra. El campo magnético terrestre es el elemento que protege nuestro planeta de este flujo de partículas, desviándolas o decelerándolas. En el lado expuesto al Sol, dicha envoltura magnética está comprimida por el viento solar y se extiende sólo a lo largo de una decena de radios terrestres; en el lado opuesto, en cambio, se extiende, como si fuera la cola de un cometa, a lo largo de cientos de miles de kilómetros. El conjunto se llama magnetosfera. El viento solar y la magnetosfera no están claramente separados sino que interactúan de modo complejo. Las auroras polares constituyen una manifestación espectacular de este fenómeno. Otras consecuencias de esta relación Tierra-Sol son las perturbaciones de las comunicaciones radioeléctricas y del funcionamiento de los satélites, que pueden ocurrir cuando se producen fenómenos especiales en la actividad solar. En los veinte últimos años, el espacio próximo a la Tierra ha sido visitado por numerosos satélites destinados a estudiar las interacciones del Sol con nuestro planeta. Sin embargo, estas misiones no han conseguido realizar una recogida de datos, repetida en el tiempo, en varios puntos de la magnetosfera simultáneamente. Ahora bien, para comprender la compleja interacción Sol-Tierra es imprescindible disponer de un mapa tridimensional de la magnetosfera en instantes sucesivos. Por ello, los científicos acabaron aprobando una misión con cuatro satélites que debían volar en formación o en grupo (de ahí el nombre de la misión, Cluster, que en inglés significa «grupo» o «cúmulo»), a una distancia bien definida, con objeto de comprender mejor los fenómenos que se producen en la magnetosfera terrestre.

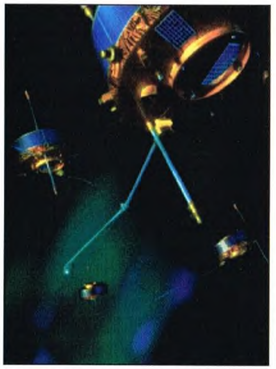
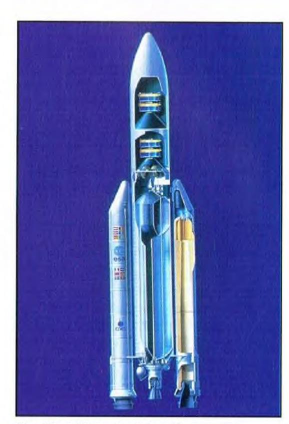


Imagen pictórica de los cuatro satélites Cluster en la configuración que habrían debido adoptar una vez lanzados al espacio.

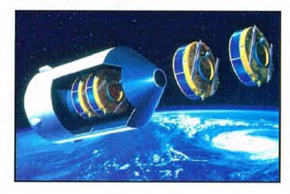
El dibujo de la derecha muestra cómo deberían haberse separado los Cluster del lanzador Ariane.



Sección del lanzador Ariane-5, que estaba encargado de poner en órbita los cuatro primeros satélites Cluster. Desgraciadamente, el lanzamiento fracasó y los cuatro satélites quedaron destruidos.

LA MISIÓN CLUSTER

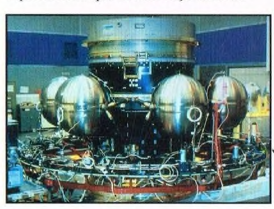
En febrero de 1986, el Consejo de Programas Científicos de la ESA aprobó un programa muy ambicioso con la misión de efectuar una observación global del Sol y de su influencia sobre el medio terrestre. Este programa, llamado Solar Terrestrial Science Program (STSP), fue considerado como el primer elemento básico del



Depósito de combustible
Cilindro central
Cable de 50 m
Brazo rígido de 5 m
Células solares
Antena

Representación pictórica de la sonda Cluster. Por primera vez la ESA trabajó «en serie», ya que las cuatro sondas eran sustancialmente iguales.

programa científico Horizon 2000. En él se contemplaba la puesta en órbita dentro del viento solar del satélite Soho, ya realizada felizmente, y el lanzamiento de los satélites Cluster. A éstos se les había encomendado la tarea de elaborar un mapa detallado de la magnetosfera terrestre. Los cuatro satélites Cluster fueron proyectados y construidos por varias sociedades pertenecientes a los 14 países de la ESA. La NASA participó en el proyecto construyendo algunos experimentos que debían viajar a bordo de los Cluster. El proyecto Cluster consistía en cuatro satélites idénticos que, volando en formación tetraédrica, tendrían que haber girado alrededor de la Tierra siguiendo una órbita polar muy excéntrica. El plano de ésta debería haber pasado casi perpendicularmente al plano de la eclíptica y haber atravesado la magnetosfera próxima a la Tierra. Girando alrededor de la Tierra durante todo el año solar, los satélites habrían podido explorar toda la magnetosfera. Habrían sondeado la cara expuesta al Sol, donde se produce el impacto con el viento solar, y la cara orientada hacia el exterior, hacia la cola de la magnetosfera. Cuando se hubieran encontrado en la región comprendida entre el Sol y la Tierra, habrían debido estudiar el área de encuentro entre el viento solar y la magnetosfera terrestre, las regiones próximas a los polos terrestres y las capas intermedias de la magnetosfera. Cuando volaran por la región oscura de la magnetosfera, los Cluster habrían debido estudiar el comportamiento del flujo de plasma en dicha región. Teniendo en cuenta el tipo de estudio requerido, habrían podido viajar a una distancia mutua mínima de unos pocos cientos de kilómetros y máxima de varias decenas de miles de kilómetros en la región de la cola de la magnetosfera terrestre.



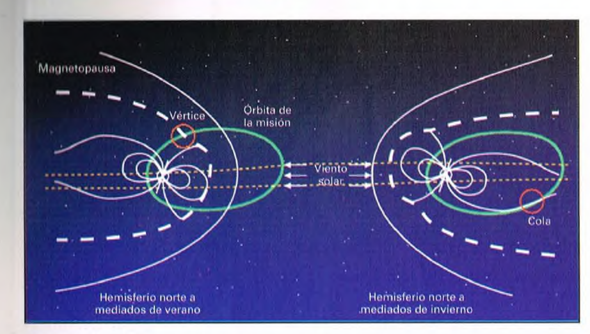
A la izquierda, detalle de la parte central de una sonda Cluster. Su diámetro era de 2,9 m y su altura de 1,3 m.

LA ÓRBITA DE LOS SATÉLITES

Una vez lanzados por el Ariane-5 (aunque el lanzamiento también habría podido

Abajo, foto de grupo de los científicos y técnicos de laboratorio que pusieron a punto los satélites Cluster y los experimentos de a bordo.





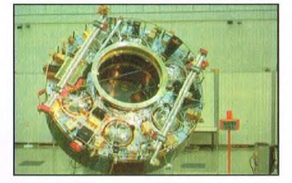
Los cuatro satélites Cluster debían colocarse en unas órbitas polares muy excéntricas, similares entre sí. El perigeo debía encontrarse a una distancia de 4 radios terrestres y el apogeo a unos 20.

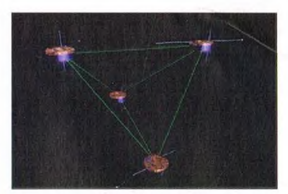
correr a cargo del más experimentado Ariane-4), los cuatro satélites Cluster se habrían posicionado alrededor de la Tierra en una órbita ecuatorial muy elíptica, de 10° de inclinación, que los habría llevado a una distancia máxima a nuestro planeta de 36.000 km y a una distancia mínima de 280 km. Después de una serie de maniobras que habrían exigido unos 20 días, los motores de a bordo los habrían hecho pasar a una órbita polar, inclinada unos 80 o 90° respecto a la eclíptica. La nueva órbita habría hecho girar los satélites entre 125.000 y 25.000 km de altitud. En este momento, el control de los satélites habría corrido a cargo del European Control Center de Darmstadt, en Alemania, y del Redu, en Bélgica.

LA ESTRUCTURA DE LOS SATÉLITES

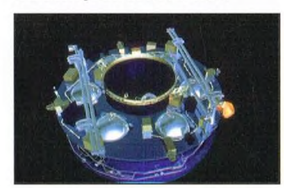
Cada satélite poseía una forma cilíndrica, con 2,9 m de diámetro y 1,3 m de altura; llevaba además la plataforma en la que estaban colocados los instrumentos científicos. Cada satélite pesaba 1.200 kg en el despegue, 650 de los cuales correspondían al propulsante contenido en seis depósitos esféricos, 478 a la masa del satélite y sólo 72 a los experimentos científicos. Durante el vuelo, los satélites habrían girado sobre sí mismos 15 veces por minuto, con el eje de rotación orientado hacia el polo Norte celeste. Los cuatro satélites transportaban la misma carga científica, que consistía en los instrumentos necesarios para efectuar 11 experimentos: medidas del campo eléctrico y magnético de la Tierra, del plasma y de las partículas eléctricamente cargadas. Los satélites llevaban dos brazos rígidos de 5 m de longitud, que debían servir para posicionar algunos sensores lejos del propio satélite y evitar cualquier perturbación o influencia debidas a este último. Cuatro antenas de 50 m servían para recoger informaciones sobre el campo eléctrico en las proximidades del satélite. Durante la construcción de los cuatro satélites Cluster se dio gran importancia a la «limpieza» de los ambientes donde se montaban. Era necesario que ningún instrumento volara con ninguna carga eléctrica o magnética por pequeña que fuese; de crearse esta carga a causa de la actividad de algún instrumento, estaba previsto que una carga de signo contrario la cancelara. Los instrumentos de a bordo estaban construidos para medir valores del magnetismo de unos pocos nanoteslas. Un nanotesla corresponde aproximadamente a una cienmilésima del campo magnético terrestre. Pero el problema de las cargas eléctricas habría podido presentarse incluso cuando el satélite se encontrara en órbita. El Sol habría podido arrancar electrones de la superficie del satélite, creando un campo magnético artificial que habría podido alterar los datos recogidos. La solución que se dio a este problema consistió en construir un instrumento capaz de eliminar dichas cargas. En la misión Cluster habrían desempeñado un importante papel doscientos científicos. Una vez recibidos los datos de a bordo, los jefes de grupo de cada experimento los habrían distribuido por todo el mundo, de Europa a Estados Unidos y China. Los datos se habrían integrado a los del satélite Soho y la sonda Ulysses, que está girando alrededor del Sol. Sin duda alguna, los resultados habrían revelado nuevos misterios científicos acerca de la importantísima interacción entre el Sol y nuestra pequeña Tierra. Afortunadamente, la ESA ha decidido enviar al espacio, en los próximos años, otros cuatro satélites Cluster. En esta ocasión, sin embargo, el lanzador podría no ser un Ariane.

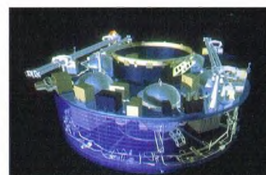
Abajo, detalle del cilindro central de una sonda Cluster. Sus dimensiones se optimizaron para adecuarse perfectamente a los mecanismos del lanzador Ariane.





Esquema de la configuración perfecta de los cuatro satélites Cluster, en los vértices de un tetraedro ideal.





Arriba, vista, desde dos ángulos distintos, de la plataforma central de los Cluster, donde se alojaban once experimentos científicos: comprendían observaciones del plasma, detección de iones y de corrientes electrónicas, y medidas del campo magnético solar.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

EL ORIGEN DE PLUTÓN

ESTRELLAS Y GALAXIAS

LA REGIÓN DE ORIÓN

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

CAPRICORNIO

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

«PLUTO EXPRESS»

EL USO DEL ESPACIO

EL FUTURO DE ITALIA EN EL ESPACIO

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

45



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.° 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

PETICIÓN DE FASCÍCULOS ATRASADOS

Válido sólo para el territorio español y para no suscriptores.

Si desea recibir algún fascículo atrasado o tapas, rellene en LETRAS MAYÚSCULAS este boletín y envíelo a:
PLANETA-DeAGOSTINI, Apartado de Correos N.° 2.867 - 08080 Barcelona, o llame al Tel. **902 288 288***

DATOS PERSONALES:

APELLIDOS

NOMBRE

CALLE O PLAZA

N.° PISO PUERTA ESC.

CÓDIGO POSTAL POBLACIÓN

PROVINCIA EDAD

TELÉFONO PROFESIÓN

FIRMA (Imprescindible)

• Recibirá contrarreembolso, más gastos de envío todo el material que nos haya solicitado.

SOLICITUD:

EL UNIVERSO
ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

Indique los números de los fascículos atrasados que desea recibir:

N.° de tapas que solicita:

Indique si desea recibir la versión con vídeo o sin vídeo:

Con vídeo ☐ Sin vídeo ☐

• Planeta-DeAgostini mantendrá su servicio de petición de atrasados hasta un plazo máximo de 18 meses a partir de la fecha de venta de cada uno de los números que forman la colección.

EL ORIGEN DE PLUTÓN



Plutón es un planeta extraño, no sólo porque se halla en el extremo del sistema solar, sino también porque observaciones recientes han demostrado que no es el único cuerpo celeste que delimita nuestro sistema.



Plutón es un singular planeta que se encuentra en los confines de nuestro sistema solar. Sus características físicas y su particular órbita alrededor del Sol hicieron pensar, hasta su descubrimiento, que era un cuerpo celeste bastante extraño y que probablemente no había tenido el mismo origen que los demás planetas de nuestro sistema. Las observaciones efectuadas en los últimos años han llevado a considerar que se trata más de un objeto celeste parecido a un cometa o a un asteroide que de un verdadero planeta del sistema solar.

VEAMOS EL PORQUÉ

Plutón fue descubierto en 1930 por Clyde W. Tombaugh, del Observatorio Lowell, en el marco de las investigaciones sobre el planeta causante de las perturbaciones del movimiento orbital de Neptuno.

Los estudios que siguieron se centraron en los elementos orbitales de Plutón, las dimensiones, la excentricidad de su órbita y su masa. Estos parámetros destacaban especialmente entre la serie de datos referentes a los restantes planetas del sistema solar, hasta tal punto que hizo resurgir la duda de que Plutón tenía un origen especial sobre el cual era preciso seguir investigando.

En la imagen se representa una visión artística del sistema Plutón-Caronte. Dadas las notables dimensiones del satélite respecto al planeta, se trata de un verdadero sistema doble, situado en el límite externo del sistema solar.

LA ÓRBITA DE PLUTÓN: DISTANCIA Y EXCENTRICIDAD

Las distancias medias de los planetas al Sol pueden describirse mediante una curiosa relación matemática propuesta en 1766 por Titius y llamada posteriormente ley de Titius-Bode.

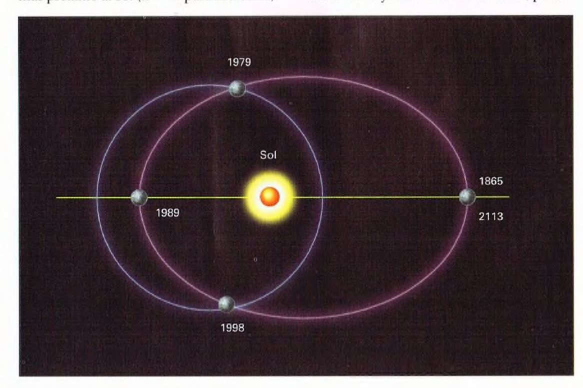
Según esta relación, si «n» es el número correspondiente a un determinado planeta, creciente a partir de Mercurio, el planeta más próximo al Sol ($n = -\infty$ para Mercurio, $n = 0$ para Venus, $n = 1$ para la Tierra, $n = 2$ para Marte, $n = 3$ para el cinturón de los asteroides, $n = 4$ para Júpiter, y así sucesivamente para los demás planetas), entonces la distancia media «d» (en unidades astronómicas) de un planeta al Sol puede expresarse así: $d = 0{,}4 + 0{,}3 \times 2^n$.

Examinando la tabla en la que figuran las distancias calculadas con la relación de Titius-Bode y las distancias medidas, puede verse que la distancia medida para Plutón se aparta llamativamente de la calculada. En realidad, esta relación matemática es una pura regla empírica, a pesar de que parece definir bien las distancias entre los planetas y el Sol.

Se desconoce si dicha relación tiene un fundamento de tipo físico: el hecho de que las distancias de los planetas al Sol puedan describirse mediante tal relación matemática podría reflejar una mayor estabilidad, real y efectiva, de las órbitas planetarias que se encuentran a aquella distancia del Sol. En tal caso, el hecho de que Plutón se aparte de esta norma podría sugerir que se trata de un cuerpo extraño capturado posteriormente por el sistema solar.

Además, Plutón tiene una órbita acusadamente excéntrica, es decir,

Arriba, dos imágenes tomadas en 1930 con un intervalo de seis días. En ellas puede verse Plutón (indicado por las flechas), que se mueve sobre el fondo de estrellas.



En este esquema se ve que la órbita de Plutón es tan excéntrica que hace que el planeta se acerque más al Sol que Neptuno. Las singulares características de la órbita de Plutón hicieron sospechar que se trataba de un cuerpo de origen distinto al del resto de los planetas del sistema solar.

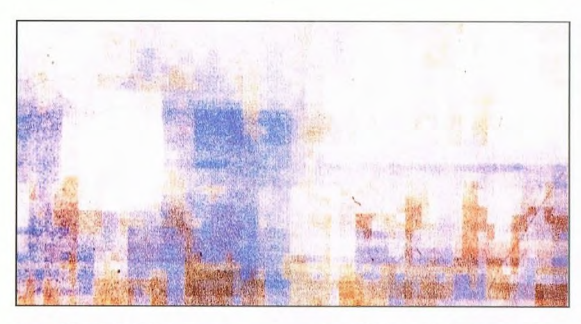
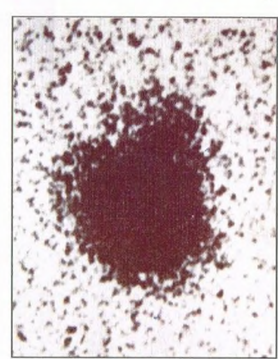


Imagen infrarroja de Plutón tomada por el satélite IRAS en 1983. Es tan confusa que apenas se distingue el planeta a la izquierda.



Una fotografía clásica de Plutón tal como se veía antes de la aparición de los telescopios de nueva generación y del telescopio espacial. Su forma, no perfectamente redonda en esta imagen, condujo al descubrimiento del satélite Caronte.

notablemente elíptica respecto a las del resto de los planetas. Esta excentricidad hace que periódicamente esté más cerca del Sol que Neptuno. La distancia de Plutón al Sol oscila entre 29 (cuando se halla dentro de la órbita de Neptuno) y 49 veces la distancia Tierra-Sol. Es un hecho que, todavía más que la discrepancia respecto a la ley de Titius-Bode, despierta dudas sobre el origen de Plutón.

PLUTÓN: UN PLANETA LIGERÍSIMO

El planeta más frío del sistema solar tiene una masa relativamente pequeña, que hoy se estima en unas tres milésimas de la de la Tierra. Su masa es muy inferior respecto a la que inicialmente se atribuyó al planeta desconocido y presuntamente causante de las perturbaciones que se observaban en la órbita de Neptuno. Por tanto, Plutón no puede causar efectos gravitatorios significativos sobre Neptuno. Por otra parte, gracias a las determinaciones recientes de la masa de los planetas más externos, hoy se acepta que, en realidad, las discordancias entre las órbitas efectivas de Neptuno y Urano y las calculadas no requieren la presencia de un planeta. Por tanto, las investigaciones y los estudios sobre Plutón habían obedecido a un motivo que, según hoy se reconoce, carecía de fundamento.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

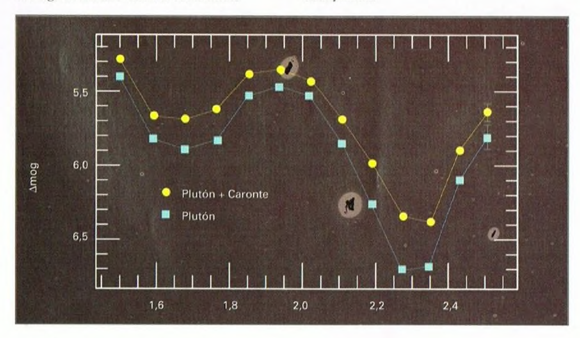
Plutón es el más pequeño, el más frío y el más reflectante de los planetas del sistema solar.

Es de tipo rocoso o terrestre, lo que le asemeja más a los planetas próximos al Sol (Mercurio, Tierra, Venus y Marte) que a los grandes gigantes gaseosos (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno). Esto resulta inexplicable en el marco de las teorías que se ocupan del origen de los sistemas planetarios: la diversidad en la composición y la densidad entre los planetas más próximos al Sol y los más alejados (con la excepción de Plutón) se justifica por el hecho de que, en las regiones más externas del sistema planetario, la temperatura era tan baja que hacía que el amoniaco y el metano, por ejemplo, se conservaran, mientras que en los planetas formados en las zonas más próximas al Sol (y más calientes) se perdieran. Hallar un nuevo cuerpo planetario como Plutón, de tipo rocoso, más allá del cinturón de los planetas gigantes gaseosos no puede justificarse según los cánones de una formación planetaria normal. Su presencia en aquella región podría explicarse



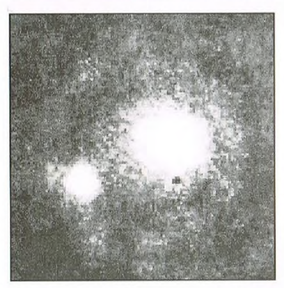
Arriba, Plutón y Caronte separados gracias a la extraordinaria capacidad del telescopio espacial Hubble.

El espectro infrarrojo de Plutón, representado abajo, muestra dos absorciones, a 1,7 y 2,3 micras, debidas a la presencia de metano en el planeta.



Cinturón de Kuiper

Órbita de Plutón



En esta imagen del telescopio espacial Hubble, es evidente la separación entre Plutón y su satélite, separación que no puede obtenerse tan claramente con fotos tomadas desde la Tierra.

Se cree que el cinturón de Kuiper es una región, más allá de la órbita de Plutón, compuesta por pequeños cuerpos rocosos y helados que constituiría el «aljibe» de los cometas periódicos y sería quizá la zona de origen de Plutón.

por algún fenómeno de «captura» desde otra región del sistema solar. Pero ¿cuál?

DENSIDAD

Por otra parte, la determinación de la masa y de las dimensiones de Plutón ha permitido establecer su densidad, estimada en 2,1 g/cm^3. Este valor ayuda a la comprensión del origen del planeta, porque significa que no se formó dentro de una nube rica en metano y que el metano descubierto por las observaciones espectroscópicas en su superficie representa sólo una pequeñísima parte de todo el planeta.

LA LEY DE TITIUS-BODE

PLANETA	DISTANCIA AL SOL CALCULADA SEGÚN LA LEY DE TITIUS-BODE	DISTANCIA REAL
MERCURIO	0,4	0,39
VENUS	0,7	0,72
TIERRA	1,0	1,00
MARTE	1,6	1,52
JÚPITER	5,2	5,20
SATURNO	10,0	9,54
URANO	19,6	19,18
NEPTUNO	38,8	30,06
PLUTÓN	77,2	39,44



Últimamente se han descubierto algunas decenas de estos objetos; pertenecerían al cinturón de Kuiper, cuya existencia fue ya supuesta en los años cincuenta.

Por tanto, Plutón resulta más denso que los gigantes gaseosos, pero menos que los planetas internos del sistema solar. Puede afirmarse que Plutón es muy diferente del resto de cuerpos de nuestro sistema, quizá con la excepción de Tritón, el satélite de Neptuno.

¿SATÉLITE DE NEPTUNO?

Una de las primeras hipótesis que se apuntaron sobre el origen de Plutón era que originariamente se trataba de un satélite de Neptuno apartado progresivamente de su órbita alrededor de este planeta.

En efecto, las analogías físicas, su excentricidad y la inclinación de su órbita aproximan notablemente Plutón a Tritón, ya que este último se mueve según una

Arriba, representación pictórica de Plutón y Caronte. Plutón es el único planeta del sistema solar al que jamás ha llegado una sonda, carencia que pronto será corregida.





A la derecha, otras dos fotografías de Plutón (indicado por las flechas) tomadas en 1930, cuando el planeta fue descubierto por Clyde Tombaugh, del Observatorio Lowell.

órbita marcadamente inclinada y retrógrada, lo que hace pensar en un origen anómalo, confirmado también por el hecho de que otro satélite de Neptuno, Nereida, sigue una órbita directa. Es posible que tanto Plutón como Tritón hubieran sido satélites de Neptuno y que, a consecuencia de un encuentro con otro cuerpo del sistema solar, el primero se hubiera alejado de Neptuno, mientras que el segundo habría entrado en una órbita retrógrada.

Sin embargo, en contra de esta hipótesis hay unos cálculos dinámicos que parecen excluir que en un pasado lejano se hubiera producido tal acontecimiento.

LOS OBJETOS DEL CINTURÓN DE KUIPER

Más probable parece la hipótesis de que Plutón provenga, en realidad, de una región externa al sistema solar: el llamado cinturón de Kuiper. Se trata de una zona exterior a todas las órbitas planetarias cuya existencia supusieron, en los años cincuenta, los astrónomos Kuiper y Edgeworth, y que, entre otras cosas, podría explicar el origen de los cometas de tipo periódico. La zona estaría formada por un conjunto muy nutrido de pequeños cuerpos helados que rodearían el sistema solar. Según esta hipótesis, que hoy parece la más plausible, Plutón podría ser el más famoso de los objetos que componen el cinturón de Kuiper, un objeto que, a todos los efectos, quizá ya está perdiendo su título de planeta.

CARACTERÍSTICAS DE PLUTÓN COMPARADAS CON LAS DE LOS DEMÁS PLANETAS

PLANETA	MASA (Tierra = 1)	DIÁMETRO (km)	DENSIDAD (g/cm³)	TIPO DE PLANETA
MERCURIO	0,055	4.878	5,43	rocoso
VENUS	0,815	12.103	5,25	rocoso
TIERRA	1	12.756	5,5	rocoso
MARTE	0,107	6.794	3,95	rocoso
JÚPITER	317,9	142.984	1,33	gaseoso
SATURNO	95,19	120.536	0,75	gaseoso
URANO	14,54	51.118	1,29	gaseoso
NEPTUNO	17,15	49.528	1,64	gaseoso
PLUTÓN	0,0026	2.300	2,1	rocoso

LA REGIÓN DE ORIÓN

La zona de la constelación de Orión es una de las más ricas y fascinantes de la bóveda estrellada. En esta parte del firmamento hay nebulosas luminosas y oscuras, jóvenes estrellas en formación rodeadas de discos de polvo y gas, y luminosas supergigantes rojas y azules.

Uno de los primeros objetos al que apuntan nuestros instrumentos es, sin duda, la gran nebulosa de Orión, M42, una nebulosa observable a simple vista si el cielo está lo suficientemente oscuro. Su posición, a caballo del ecuador celeste, la hace visible prácticamente desde cualquier región habitada de la Tierra. La constelación a la que pertenece domina el cielo de las latitudes septentrionales durante el período invernal.

Pero, además de la M42, en la constelación de Orión hay una infinidad de objetos interesantes. Puede decirse que contiene un muestrario de estrellas representativo de todos los tipos principales de astros, además de una serie de nebulosas oscuras y de reflexión como no las hay en ninguna otra región del firmamento. Esto se debe también a la coincidencia de que esta constelación se recorta en la dirección de uno de los brazos de nuestra Galaxia, precisamente el brazo de Orión, al que pertenece nuestro sistema solar.

LA TRADICIÓN MITOLÓGICA

Como es sabido, según la tradición, Orión representa un gigante cazador, hijo del dios Neptuno y de la ninfa Euriale. En el firmamento está representado de frente y empuña una espada en la mano derecha y una piel de león o un escudo para defenderse en la izquierda. Quería exterminar a todos los animales del planeta, pero Gea, la diosa de la Tierra, lo envió contra el escorpión, que lo hirió mortalmente. Las dos constelaciones, Orión y Escorpión, están hoy situadas en partes opuestas de la esfera celeste y, de noche,



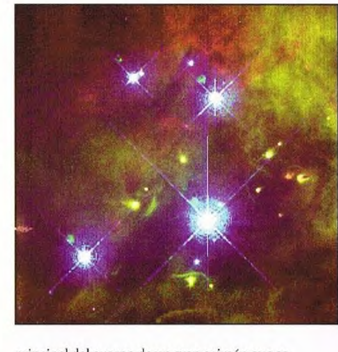
Arriba, fotografía de la gran nebulosa de Orión, M42. Esta región del firmamento contiene objetos fascinantes que son tema de estudio en todos los campos de la astrofísica moderna. Pero incluso los aficionados hallan en esta zona algunos de los objetos estéticamente más espectaculares.

A la izquierda, fotografía tomada por el telescopio espacial Hubble, que muestra un detalle de la nebulosa de Orión. La estrella brillante a la izquierda es Theta 2 Orionis. En la zona brillante de la derecha, llamada Regio Huygeniana (o región de Huygens), el telescopio espacial descubrió varios discos protoplanetarios.



A la derecha, una imagen ampliada de la región central del Trapecio, con las cuatro estrellas principales y los discos protoplanetarios en dispersión a causa de la presión de radiación de las estrellas que contienen. Adoptan una curiosa forma «de cometa» con la cola en dirección opuesta a la estrella.

A la izquierda, otra imagen de la región del Trapecio de Orión. Los colores de esta fotografía son exactamente los que vería el ojo humano si fuese suficientemente sensible.



cuando la primera declina en occidente, la segunda empieza a surgir por oriente. En la noche siguiente, Orión aparece de nuevo, vivificado por las curas de Ofiuco, el médico de la Antigüedad, que le dio un antídoto para el veneno del escorpión y lo salvó.

Ésta es la historia según nuestra cultura. Pero también los pueblos de lejanas regiones vieron en esta constelación una figura de importancia capital. Para los antiguos egipcios era Osiris, dios de la luz, representado mientras atraviesa el Nilo, donde se encuentra con el río del cielo, es decir, la Vía Láctea. En cambio, según los chinos, la constelación está asociada a la figura de Tsan, el comandante supremo de los defensores de los campesinos contra el ataque de los nómadas bárbaros. Para los bororo del Brasil central, las estrellas de Orión componen la parte principal del cuerpo de un gran caimán que se extiende desde nuestra constelación del Cochero hasta la de la Liebre, mientras que para los dayak de Borneo representa una trampa para animales, similar a la que ellos mismos utilizan para cazar.

Cualquiera que sea la interpretación que se le dé, lo cierto es que esta región del firmamento siempre ha atraído la atención de los observadores, aunque sólo sea porque en ella se concentran muchas estrellas realmente brillantes.



La fotografía de la izquierda muestra toda la constelación de Orión. La estrella roja de la parte superior izquierda es Betelgeuse; la blanco-azulada de abajo a la derecha es Rigel. En el centro, las tres estrellas características del cinturón; debajo de ellas, la gran nebulosa M42.

COMPETENCIA ENTRE ESTRELLAS

Las estrellas principales de la constelación son interesantes: la estrella Alfa, que representa el hombro derecho de Orión, es la llamada Betelgeuse, nombre que deriva del árabe *Beit-al-Gueze*, literalmente «axila del gigante». Es una estrella supergigante roja de tipo espectral M y, por tanto, fría, cuya magnitud varía entre 0,4 y 1,3 de manera bastante irregular. El hecho de que se la designe como estrella Alfa (la nomenclatura usual de las estrellas de una constelación asocia la primera letra del alfabeto griego con la más brillante) en vez de Rigel, que tiene una magnitud 0,08, hace pensar que en un pasado bastante reciente era más luminosa que esta última.

VARIABLES Y METEOROS

Además de las nebulosas y los cúmulos estelares, en Orión hay una cantidad enorme de estrellas variables, quizá un millar. Como se trata de una zona de formación estelar, la mayoría de las variables pertenecen a la categoría de las «variables nebulares», es decir, estrellas muy jóvenes que todavía no han alcanzado una verdadera estabilidad interna. Entre ellas está la conocida FU Orionis, que en los años treinta fue protagonista de las crónicas astronómicas porque su luminosidad aumentó en casi 5 magnitudes (es decir, cien veces) en un período de unos 20 años. Hoy varía su propio brillo de manera irregular entre las magnitudes 10 y 16. A unos 8 grados al noreste de Betelgeuse se encuentra el radiante (es decir, el punto del que parecen proceder las estrellas fugaces) de la lluvia de meteoros de las Oriónidas, que son visibles entre el 10 y el 30 de noviembre, con una punta máxima en las noches del 19 y del 20.

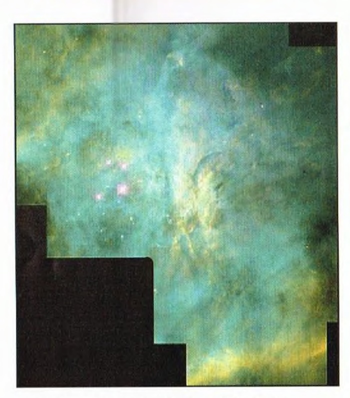


Imagen ampliada de la región central del Trapecio observada por el telescopio espacial Hubble. Se ven las cuatro estrellas principales y varios discos protoplanetarios.

De creer las estimaciones de Johann Bayer, a principios del siglo XVII era efectivamente así, mientras que en la época de C. Flammarion, alrededor de 1875, ambas estrellas se alternaban en cuanto a luminosidad. Solamente desde principios del siglo XX el brillo de Rigel parece haber adquirido una franca ventaja. Esta estrella es un clásico ejemplo de supergigante B de color blanco azulado. Actualmente es la sexta estrella más luminosa del firmamento.

Pero las tres estrellas más características de la constelación (Delta, Épsilon y Zeta) están alineadas oblicuamente y representan las gemas que adornan el cinturón del gigante.

Al oeste de Betelgeuse está Bellatrix (el hombro izquierdo), y al este de Rigel se encuentra K, la rodilla derecha del gigante.

EL PRIMER DIBUJO DE M42

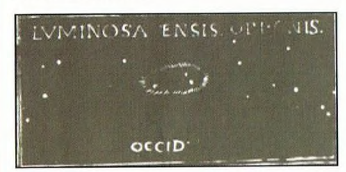
La gran nebulosa de Orión es el objeto más llamativo de la constelación y ya fue conocida en la Antigüedad. Puede verse incluso sin el auxilio de instrumentos. El primer testimonio escrito de su percepción se remonta a 1610. La cita es de Nicholas-Claude Fabri de Peiresc, un abogado francés que la observó con su propio telescopio. Tolomeo, en cambio, no la menciona, a pesar de que catalogó las estrellas más brillantes de la constelación.

El dibujo más antiguo que nos ha llegado de M42 es el que, hacia 1650, hizo Giovanni Battista Hodierna, que consiguió resolver tres de las estrellas del Trapecio. Hodierna (1597-1660) era por entonces astrónomo en la corte del duque de Montechiaro y compiló un catálogo de unos cuarenta objetos, entre ellos

A la derecha, fotografía de la zona de Orión donde se halla la nebulosa oscura de la Cabeza de Caballo. Es quizá la nebulosa oscura más conocida del firmamento, precisamente por su forma característica.

LA CALIFORNIA DEL CIELO

Camille Flammarion, celebérrimo divulgador francés de la astronomía, que vivió a caballo entre los siglos XIX y XX, definió la constelación de Orión como «la California del cielo» por su espectacularidad y riqueza. Indudablemente, la había apreciado bien, ya que en esta región todavía hoy se centran los estudios de muchos investigadores dedicados a diversos campos de la astrofísica: formación de las estrellas, nacimiento de sistemas planetarios, variables, nebulosas, etcétera.

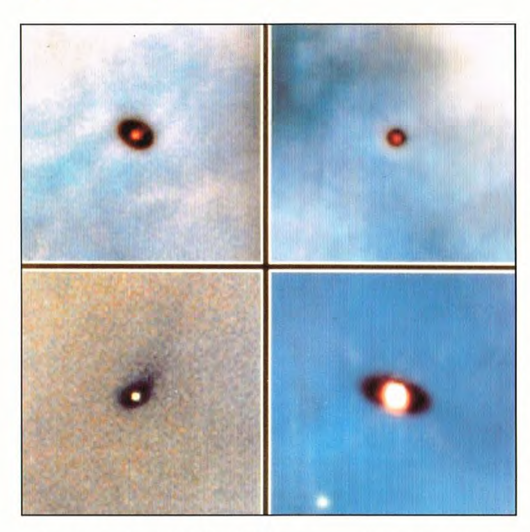


Arriba, el dibujo más antiguo que nos ha llegado de la nebulosa de Orión. Es obra de Giovanni Battista Hodierna, astrónomo de la corte del duque de Montechiaro hacia 1650.

diecinueve nebulosas, utilizando un refractor de tipo galileano que permitía unos veinte aumentos. También este astrónomo, según la opinión de su tiempo, creía que las nebulosas eran cúmulos de estrellas. En su libro *De Admirandi Coeli Caracteribus*, describe el aspecto de los objetos nebulares que había observado.



Fotografía que muestra M42 con M43 y su extensión septentrional, que comprende NGC 1973, NGC 1975 y NGC 1977. En el ángulo superior izquierdo se ve la estrella Zeta Orionis con su gran conjunto de nebulosas.



Arriba, cuatro imágenes tomadas por el telescopio espacial Hubble de discos protoplanetarios (los llamados proplyds) en la región de la nebulosa de Orión. En su interior hay estrellas jóvenes apenas formadas y ocultas en las nubes de gas y polvo que las generaron. Se cree que dentro de estos discos pueden estar formándose sistemas planetarios.

M42 se encuentra a unos 1.500-1.600 a.l. de la Tierra. Es la nebulosa difusa de emisión más brillante del firmamento y se extiende sobre una superficie de la esfera celeste que equivale aproximadamente a 85 × 60 minutos de arco, es decir, más de cinco veces el área de la Luna llena. Su diámetro lineal es de unos 30 a.l. En su región septentrional está atravesada por una franja oscura, de manera que la parte noreste está catalogada, separadamente del cuerpo principal de la nebulosa, como M43; M42 es una verdadera maraña de nubes de gas y polvo. También es la región de formación estelar más próxima a la Tierra. La zona oscura que la separa de M43 se extiende por su interior formando una curiosa figura conocida como «la boca del pez» o «la boca del león». En cambio, las dos regiones luminosas de los lados son las llamadas «alas». El cúmulo de estrellas jóvenes que se encuentra al final de la boca del pez es el famoso «Trapecio», así llamado porque sus estrellas más brillantes se hallan en los vértices de un cuadrilátero irregular. Allí se acumulan más de 300 pequeñas estrellas más débiles.

La gran nebulosa de Orión también ha sido observada detalladamente por el telescopio espacial Hubble, que ha descubierto en ella numerosos discos protoplanetarios (llamados técnicamente *proplyds*). Son capas de materia que rodean algunas estrellas en la fase final de su formación y en cuyo interior es posible que se formen sistemas planetarios similares a nuestro sistema solar. Parece que las estrellas del Trapecio interactúan con estos discos y tienden a provocar su disipación.

Por encima de M42 y M43 hay también otras tres débiles nebulosas de reflexión que reflejan en parte la luz de la gran nebulosa: se trata de NGC 1973, NGC 1975 y NGC 1977 que, junto con las dos primeras, forman la alineación vertical de manchas de luz en las que los antiguos veían la «espada» del gigante Orión. Sobre esta «hilera» de nubes se encuentra el pequeño cúmulo abierto NGC 1981.

DEAMBULANDO POR LA CONSTELACIÓN

Un poco al norte del sistema de M42 y M43, cerca de la estrella Zeta del cinturón, hay otro conjunto de nubes moleculares que comprende NGC 2024, NGC 2023, IC 434 y otras pequeñas nebulosas. En el interior de IC 434 está la conocida nebulosa Cabeza de Caballo, de forma muy característica. Se trata de una nube de polvo y gas no luminoso que oculta la luz procedente de la zona situada detrás, especialmente de IC 434, que es bastante brillante. Es el ejemplo más famoso de nube molecular oscura, y está clasificada en el catálogo de Barnard con el número 33, por lo que se la conoce como B33. Visible sólo en fotografías tomadas con telescopio, se encuentra a una distancia similar a la de M42, es decir, a unos 1.500 a.l. NGC 2024 se conoce también como *flame nebula*, o nebulosa de la llama.

Sus intrincados detalles son visibles únicamente en las fotografías de larga exposición tomadas con un telescopio. A pesar de todo, puede verse en su totalidad con unos prismáticos de 20 × 80. A unos 80 segundos de arco por debajo de las estrellas del Trapecio está NGC 1999, de forma vagamente circular, que a primera vista puede confundirse con una nebulosa planetaria.

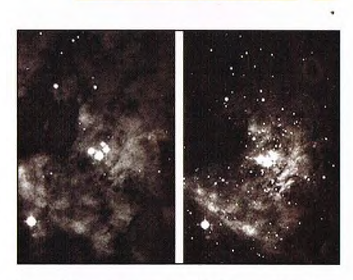
Estudios recientes permiten pensar que la luminosidad global que se observa alrededor de Zeta Orionis no es totalmente atribuible a esta última, sino que podría deberse a la aportación de enormes masas de polvo y gas que, en tiempos relativamente recientes, entraron en colisión. Las imágenes muestran también un amplísimo arco elíptico de materia que se extiende a lo largo de unos



Fotografía de la nebulosa M43, en la que se ve la alternancia de regiones luminosas y oscuras, estas últimas debidas a la presencia de polvo que absorbe la luz.



A la izquierda, fotografía de larga exposición sin seguimiento en la que se entrevé el arco de Barnard (Sharpless 276), probable resto de supernova que rodea la zona de las grandes nubes de Orión.



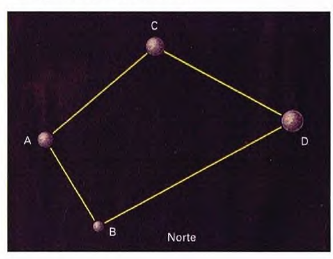
A la derecha, dos imágenes de la parte central de la región del Trapecio. La de la izquierda fue tomada en el espectro visible (luz azul); la de la derecha, en el infrarrojo. Esta última presenta muchas más estrellas jóvenes y frías en formación.

15-20 grados alrededor de M42 y de la región de Zeta Orionis, al este de ellas. Este «arco de Barnard» (Sharpless 276) quizá podría ser un resto de supernova, lo que explicaría las hipotéticas colisiones entre nubes de gas y polvo provocadas por fenómenos como la explosión de las supernovas.

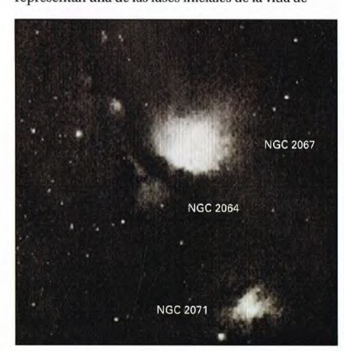
POR ENCIMA DEL CINTURÓN

Aproximadamente a 2,5 grados al noreste de la estrella Zeta está el conjunto de nubes centrado en torno a M78, otra nebulosa difusa de reflexión situada a unos 1.600 a.l. de la Tierra. Brilla reflejando la luz de las brillantes estrellas azules (de tipo espectral B) que están en su interior, entre ellas HD 38563, de magnitud 10. Es la nebulosa de reflexión más brillante del firmamento; tiene unas dimensiones angulares del orden de 8 × 6 segundos de arco, que a su distancia significa una dimensión real de casi 4 a.l. En el interior y en las cercanías de esta nebulosa se han observado unas 45 estrellas de pequeña masa con líneas de emisión del hidrógeno, similares a las variables irregulares de tipo T Tauri, unas estrellas de tipo espectral F-G asociadas a regiones nebulosas, que representan una de las fases iniciales de la vida de las estrellas. Otras pequeñas nebulosas, mucho más débiles, rodean también a M78.

Acabaremos la descripción de esta región prestando atención a la parte más septentrional. Al este de Betelgeuse aparecen unos pequeños cúmulos abiertos: NGC 2168, NGC 2141, NGC 2194 y NGC 2169. Exceptuando el último, en el que hay un par de estrellas de magnitud comprendida entre 8 y 9, se trata de objetos poco significativos. Finalmente, hay dos nebulosas planetarias: la primera, NGC 2022, se encuentra en la región de la cabeza del gigante, un poco al norte de la línea entre Betelgeuse y Bellatrix, los dos hombros de Orión. Tiene una magnitud 12 y unas dimensiones angulares del orden de 20 segundos de arco. La segunda, J320, se encuentra más al oeste, cerca del escudo del cazador. Extendida en el firmamento a lo largo de unos 7 segundos de arco, su magnitud es del orden de 11.



Abajo, a la derecha, esquema de la disposición de las estrellas del Trapecio. Las distancias angulares entre las cuatro estrellas son las siguientes: A-B 8,9", A-C 13" y A-D 21,7". Sus magnitudes son: A = 6,9; B = 8; C = 5,4 y D = 6,8. Hay también una pequeña estrella de magnitud 11,3 situada a 4,3" de la estrella A.



Abajo, a la izquierda, la nebulosa de reflexión M78. Brilla a causa de la luz emitida por algunas estrellas azules de tipo espectral B, la más luminosa de las cuales (HD 38563) es de magnitud 10. Tiene un diámetro real de unos 4 a.l. M78 comprende diversas nubes mucho más débiles: NGC 2071, NGC 2067 y NGC 2064.

OBJETOS SELECCIONADOS EN ORIÓN

Nombre	Tipo	A.R.	Decl.	Magn.	Dim.
M42	nebulosa de emisión/reflexión	5h 35,4′	−05° 27′	4,0	85 × 60′
M43	nebulosa de emisión/reflexión	5h 35,6′	−05° 16′	9,1	20 × 15′
M78	nebulosa de reflexión	5h 46,7′	+00° 03′	10,3	8 × 6′
NGC 2194	cúmulo abierto	6h 13,8′	+12° 48′	8,5	8′
NGC 2022	nebulosa planetaria	5h 42,1′	+09° 05′	12	20″
J320	nebulosa planetaria	5h 05,6′	+10° 42′	11	7″
IC 434	nebulosa de emisión	5h 41′	−02° 24′	12	60 × 10′
B33	nebulosa oscura	5h 40,9′	−02° 28′	–	6 × 4′

CAPRICORNIO

La constelación de Capricornio tiene orígenes remotos: probablemente se remonta al período caldeo.



El Capricornio celeste nos recuerda el trópico homónimo situado a 23° S. Ésta es la latitud en la que el Sol se encuentra en el cenit el día del solsticio de verano en el hemisferio austral (o de invierno en el hemisferio boreal). El nombre del trópico deriva del hecho de que, hace unos 2.500 años, el Sol se hallaba en esta constelación el día del solsticio.

Precisamente por ser visitada por nuestra estrella, la constelación de Capricornio forma parte del zodiaco.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

Capricornio puede buscarse partiendo de Beta Scorpii, la estrella más septentrional de las pinzas del Escorpión, y avanzando unos sesenta grados hacia el este. De este modo, se llega a las proximidades de dos de las estrellas más brillantes de la constelación: Alfa y Beta.

La forma de la constelación se parece a un triángulo invertido, con la base situada hacia el norte.

ESTRELLAS PRINCIPALES

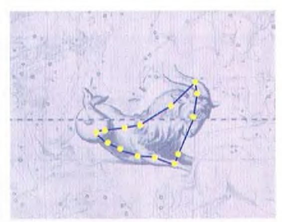
Alfa, conocida como Gredi o Algiedi, que significa «cabra», está formada por un grupo de estrellas: son dos componentes de magnitudes 4,2 y 3,6 fácilmente separables, pero demasiado distantes entre sí para estar ligadas por una mutua atracción gravitatoria. Estas dos estrellas se conocen también como Alfa 1, la menos luminosa, y Alfa 2. Ambas son estrellas dobles: con pequeños instrumentos, Alfa 1 muestra también una compañera (magnitud 9,2) que no está unida a ella. En cambio, Alfa 2 tiene una compañera (magnitud 11) que orbita a su alrededor.



M30 es un cúmulo globular descubierto por el astrónomo francés Messier.

También Beta (magnitud 3,1), o Dabih, es una estrella doble. Un telescopio muestra que está formada por un astro amarillo acompañado de una pequeña estrella de sexta magnitud y de color azul.

La estrella más luminosa de Capricornio es Delta, de magnitud 2,9. Se conoce también como Deneb Algiedi, es decir, «cola de la cabra». En un período de algo más de un día, varía entre las magnitudes 2,8 y 3,1 a causa de una compañera demasiado próxima para poder separarla ni con los telescopios más potentes, pero que origina eclipses mutuos con la estrella principal.



Capricornio es un animal híbrido, con cabeza de cabra y cuerpo de pez. En él los griegos veían a Pan, el dios de los bosques que tocaba una flauta hecha de cañas.

Capricornio contiene otras estrellas dobles; algunas de ellas pueden resolverse con instrumentos de pequeño diámetro.

OTROS OBJETOS DE CAPRICORNIO

Capricornio no contiene muchos objetos telescópicos de especial interés. Sin embargo, dentro de los límites de la constelación, hay uno de los objetos del catálogo de Messier, M30 (octava magnitud), un cúmulo globular al alcance de los telescopios de aficionado. Se cree que su distancia hasta nosotros es de unos 40.000 años luz. Con telescopios de diámetro superior a los 100 mm es posible separar algunas de las estrellas de las zonas más periféricas de este cúmulo.

En Capricornio puede observarse también una galaxia espiral barrada: NGC 6907. Sin embargo, por ser de magnitud 11, está fuera del alcance de los instrumentos de pequeño diámetro.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

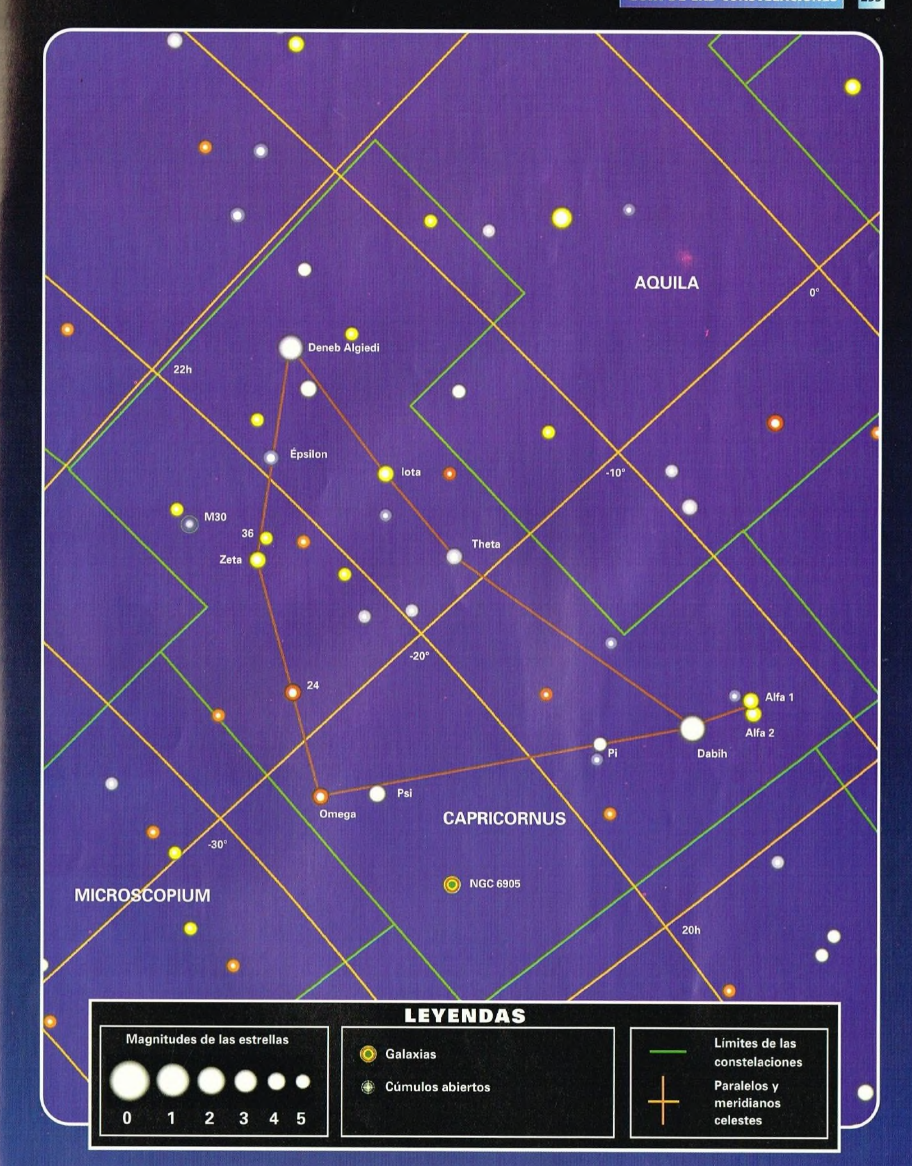
CAPRICORNIO

La constelación de Capricornio está ligada al dios griego Pan, un ser con cuerpo humano y cuernos y pezuñas de cabra. Según una leyenda, Pan, que tenía una voz tonante, comunicó a los dioses que el monstruo Tefeo, enviado por Gea, estaba a punto de llegar para combatirles.
Los dioses decidieron engañar a Tefeo transformándose, y Pan modificó su cuerpo sustituyendo la parte inferior por la de un pez. Por este motivo, Capricornio se representa como un animal anfibio, mitad cabra y mitad pez. En la lucha que siguió, Tefeo consiguió reducir a Júpiter, pero el dios fue ayudado, entre otros, por el propio Pan. Rechazó al monstruo y lo relegó a las profundidades del monte Etna. Para premiar a Pan por la ayuda prestada, Júpiter colocó al dios de los bosques en el cielo en forma de constelación.

DÓNDE BUSCARLA

CAPRICORNIO

Capricornio se cuenta entre las constelaciones que tienen el período de mejor visibilidad entre finales del verano y comienzos del otoño. Pasa por el meridiano a medianoche hacia finales de agosto. En cuanto a su observación, como se halla entre las declinaciones –9 y –28°, puede apreciarse desde buena parte de los lugares habitados, pero a una latitud de 42° N nunca se eleva por encima del horizonte más de unos cuarenta grados. Abarca una región del cielo comprendida entre las 20 horas 5 minutos y las 21 horas 55 minutos de ascensión recta.


AQUILA
0°
Deneb Algiedi
22h
Épsilon
Iota
-10°
M30
36
Theta
Zeta
-20°
24
Alfa 1
Alfa 2
Dabih
Pi
Psi
Omega
CAPRICORNUS
-30°
NGC 6905
MICROSCOPIUM
20h
LEYENDAS
Magnitudes de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Galaxias
Cúmulos abiertos
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

PLUTO EXPRESS: HACIA LOS CONFINES DEL SISTEMA SOLAR

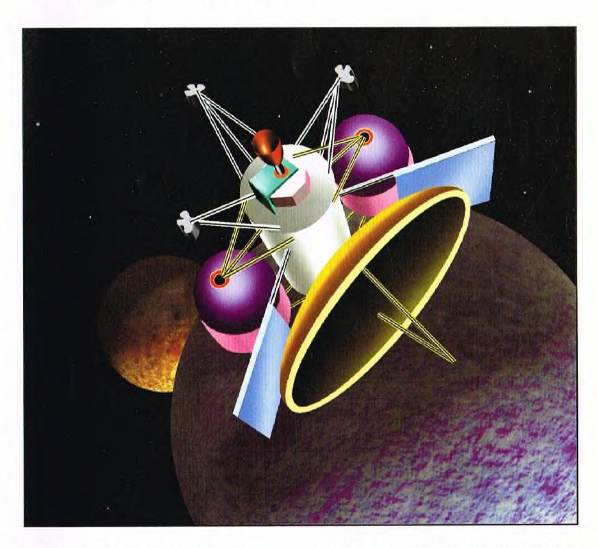
Una misión a Plutón ya fue discutida en los años ochenta durante el viaje de las sondas Voyager. El planeta quedaba excluido del gran viaje de las Pioneer y de las Voyager, de manera que conocemos poco sus características. Sin embargo, parece que una de las primeras misiones interplanetarias del próximo milenio se dirigirá hacia el más lejano de los planetas del sistema solar.



Plutón, el más pequeño de los planetas de nuestro sistema solar, fue un enigma hasta su descubrimiento, en 1930, por el astrónomo Clyde Tombaugh. Es el único planeta que no ha sido visitado por una sonda espacial y, dada su distancia y sus pequeñas dimensiones, continúa conservando sus secretos e impidiendo a los astrónomos el pleno conocimiento de la evolución del sistema solar. En los últimos años, la Solar System Exploration Division de la NASA ha concebido un proyecto para explorar Plutón. Este proyecto es el resultado de la evolución de otras proposiciones hechas entre finales de los años ochenta y comienzos de los noventa. Los proyectos anteriores se descartaron porque preveían el uso de sondas demasiado pesadas que habrían exigido cohetes de lanzamiento excesivamente caros. Las nuevas tecnologías han permitido reducir el peso de la estructura de las sondas, de la carga científica de a bordo y, por tanto, de las reservas de combustible (sólo 100-150 kg en total), de manera que las sondas podrían lanzarse hasta los límites del sistema solar con un Titán, un Proton o un cohete pequeño después de haber sido llevadas al espacio por un transbordador.

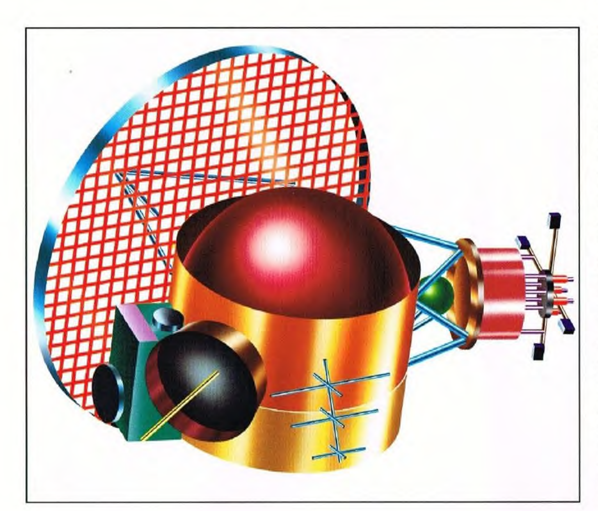
LOS PROYECTOS

El proyecto prevé el lanzamiento de dos sondas que deberían partir en 1999 o en el año 2000. Utilizarán cohetes separados y sobrevolarán Plutón y Caronte, satélite del lejano planeta, en los años 2007 y 2010, pasando a sólo 15.000 km de su superficie.



La misión de la sonda Pluto Express permitirá el acercamiento, por primera vez, al planeta más externo del sistema solar y a su satélite Caronte, tal como se representa en el dibujo. Esto ocurrirá alrededor del 2010.

En 1992, el Outer Planets Science Working Group (OPSWG), formado por un grupo de científicos planetólogos elegidos por la NASA, definió los objetivos científicos de la misión clasificándolos en tres categorías. La primera define los objetivos principales de la misión, es decir, las características geológicas y morfológicas de la superficie de Plutón y Caronte, la composición de la misma, y la búsqueda y eventual estudio de los componentes de su atmósfera, si la hay. Los objetivos de las otras dos categorías todavía no han sido totalmente definidos. En cuanto a los



Esbozo de la Pluto Express, cuyo proyecto está en vías de desarrollo.

instrumentos a bordo de las cápsulas, tendrán sobre todo la misión de cumplir los objetivos ya citados, puesto que son instrumentos experimentados en otras ocasiones y cuyo coste es probablemente inferior al de otros que podría desearse construir para objetivos muy específicos.

UNA SONDA, SIETE SUBSISTEMAS

Uno de los problemas más difíciles de resolver será la integración de todos los instrumentos, algunos de los cuales son de nuevo diseño. Además, nuevos materiales podrían provocar problemas desconocidos hasta ahora. Por ejemplo, para conseguir el menor peso posible de un instrumento podrían utilizarse materiales de nueva concepción cuya permeabilidad a las radiaciones sería quizá superior a la del aluminio, uno de los materiales más utilizados en las anteriores expediciones interplanetarias. En tal caso, sería necesario conseguir otros materiales aislantes para proteger partes muy sensibles, por ejemplo los componentes electrónicos.

La sonda para la misión hacia Plutón deberá diseñarse de acuerdo con siete subsistemas:

• Un sistema para las telecomunicaciones. Consistirá en una antena de alta ganancia (HGA), de 1,5 m de diámetro, y en un sistema de radio que recibirá y transmitirá en la banda Ka (32 GHz). Este subsistema podría pesar unos 12,5 kg y consumiría alrededor de 22 W durante las transmisiones. Los datos se transmitirán al sistema Deep Space Network a 40 o 170 bits por segundo, siempre de acuerdo con la antena receptora utilizada en tierra.

• Un generador eléctrico. La energía de a bordo será producida por un generador nuclear. Según las últimas posibilidades, podría pesar no más de 14 kg y producir 63,8 W de potencia eléctrica durante un período de 9 años. En el momento en que la misión necesite la máxima energía, que será durante las fases siguientes al encuentro con Plutón y Caronte, se ha previsto una exigencia de unos 52 W, que dejaría un margen aproximado del 10% para posibles imprevistos.

• Un sistema de control de la ruta. Consiste en un sofisticado sistema mediante el cual una máquina fotográfica hace tomas del cielo estrellado en períodos muy concretos y las compara con el catálogo estelar registrado en la propia memoria, de manera que se verifiquen los datos de la ruta y sea posible una intervención para modificarla. Además, para efectuar la medición de parámetros más precisos podría utilizarse un sistema láser desarrollado para interceptar misiles.

• Un sistema de control de los datos. Un verdadero cerebro a bordo capaz de procesar datos y tomar iniciativas en función de los tiempos de envío de las señales a la Tierra y de respuesta, los cuales serán cada vez mayores a medida que aumente la distancia entre la sonda y nuestro planeta.

• Las estructuras. Deberán soportar las fuertes vibraciones y aceleraciones que se producirán en el lanzamiento y durante la puesta en ruta de la cápsula hacia Plutón. Además, tendrán que proteger los instrumentos de las radiaciones cósmicas. Inicialmente se había pensado que fueran de aluminio, pero hoy podrían construirse con una aleación de aluminio y grafito.

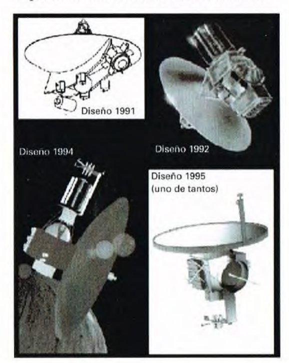
• Un sistema de control de la propulsión. El sistema de propulsión se basa en un combustible único que debería ser la hidracina, lo que servirá para las correcciones de ruta en la fase de aproximación a Plutón.

• Un sistema de control térmico. Se trata de un sistema esencialmente pasivo formado por cubiertas, radiadores y otros medios capaces de mantener la temperatura lo más cerca posible del valor necesario para el buen funcionamiento de los instrumentos.

LOS TRES REQUISITOS FUNDAMENTALES PARA REALIZAR EL PROYECTO

El diseño de la cápsula espacial se ha guiado principalmente por tres exigencias básicas: el coste, el proyecto y las prestaciones.

La primera es seguramente la más importante. Si durante la construcción de



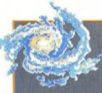
Una serie de diseños que muestran las modificaciones del proyecto de la sonda Pluto Express. El proyecto de la cubierta externa de la cápsula, cuya forma depende de los fines de la misión, todavía está en desarrollo.

cada una de las partes de la misión se viera que el presupuesto de 400 millones de dólares, fijado hacia mediados de los años noventa, puede quedar superado, los científicos y los técnicos podrían ver cancelada la misión. Esto significa que unos y otros no sólo han de trabajar para limitar los costes, sino que han de cooperar estrechamente con el resto del equipo para minimizar los gastos totales.

La segunda exigencia, el proyecto de vuelo, sugiere que es necesario colocar la sonda camino de Plutón lo antes posible. Esto requiere que el grupo OPSWG defina rápidamente los objetivos de la misión con todos sus detalles, de manera que los costes totales puedan reducirse al máximo. Sin embargo, esto crea algunos problemas. Reducir el tiempo a los científicos significa que no se les permite desarrollar tecnologías avanzadas con el uso de nuevos materiales u otros elementos, uso que podría reducir mucho la masa de la sonda y, por tanto, acortar el tiempo de vuelo.

La tercera exigencia define las capacidades reales de la misión para el logro de los objetivos propuestos. Partiendo de ciertos objetivos, que deben alcanzarse con unos costes determinados, la construcción práctica de la sonda debe demostrar la posibilidad de obtener lo que se ha propuesto.

Desde 1992, año en que se definieron las principales líneas de la misión, se ha pasado de una sonda de 164 kg de peso a una que en 1995 pesaba 120 kg, lo que indica que, en poco tiempo y con la investigación de nuevos materiales ligeros pero resistentes, el peso puede reducirse aún más.



OBJETIVOS CIENTÍFICOS DE LA MISIÓN HACIA PLUTÓN

Categoría 1a

Características globales de la geología y de la morfología del planeta.
Mapa de la composición de la superficie.
Características de la estructura y de la composición de su atmósfera.

Categoría 1b

Variación temporal de las características de la atmósfera.
Imágenes estereográficas de la superficie.
Alta resolución de las imágenes.
Selección de zonas de la superficie para obtener imágenes muy detalladas.
Definición de la ionosfera de Plutón e interacción con el viento solar.
Búsqueda de elementos específicos, como: H, H_2, HCN, C_xH_y, otros hidrocarburos y nitrilos en la atmósfera superior del planeta.
Búsqueda de una posible atmósfera en Caronte.
Determinación del albedo.
Determinación de la temperatura superficial.

Categoría 1c

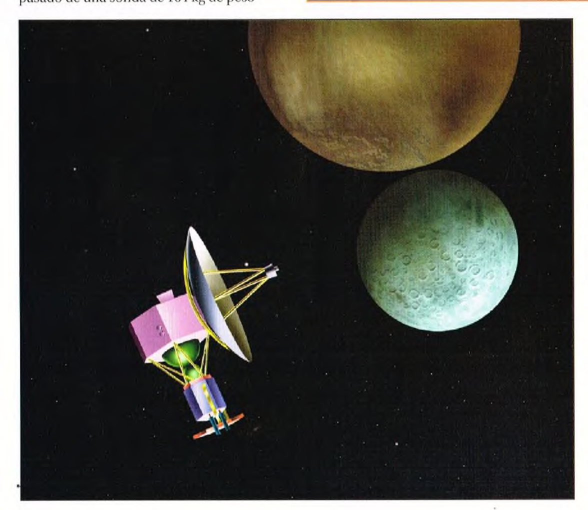
Caracterización del entorno de las partículas energéticas.
Redefinición de los parámetros de Plutón y Caronte (radio, masa, densidad).
Investigación del campo magnético.
Búsqueda de posibles satélites menores de Plutón.

Para alcanzar estos objetivos, hay que confiar en instrumentos cuya tecnología ya está desarrollada, aunque existe la necesidad de disponer de una carga científica extremadamente ligera. Esto hace que deban buscarse materiales y estructuras que aún no han sido muy utilizados en exploraciones planetarias anteriores y de los cuales se tiene poca o ninguna experiencia. Entre los criterios que los científicos están siguiendo en la preparación de la misión predomina el de la reducción de la masa total de la cápsula y, por tanto, el de reducción del consumo energético de los instrumentos con el fin de acortar los tiempos de vuelo Tierra-Plutón.

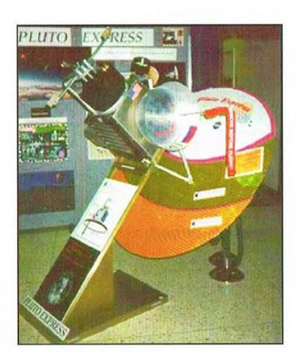
EL PLAN OPERATIVO DE LA MISIÓN

Para la realización de la misión hacia Plutón se han previsto dos posibilidades de limitación de los costes totales.

La primera propugna la utilización del equipo de científicos que ha seguido las misiones Voyager, ya que su capacidad para planificar y hacer navegar una cápsula en el espacio ha sido sobradamente probada. En tal caso, la misión se confiaría al Advanced Multimission Operations System (AMMOS), que actualmente todavía está haciendo el seguimiento de la misión Voyager más allá de los confines del sistema solar.



Otra representación del hipotético acercamiento de la Pluto Express al sistema de Plutón y Caronte. Aspecto de la sonda y de su enorme antena desplegada para transmitir hasta la Tierra las informaciones recogidas.



Uno de los primeros proyectos concretos, aunque sólo de prueba, desarrollados para la instrumentación de la Pluto Express ha sido el que se muestra en la fotografía de arriba. Su autor es un estudiante de ingeniería de la Universidad de California. Incluye también una pequeña sonda que debería penetrar en la tenue atmósfera plutoniana.

A la derecha, visión artística del acercamiento de la Pluto Express a Plutón. Tendrá gran importancia el sistema de comunicación, ya que la sonda se alejará de la Tierra unos 5.000 millones de kilómetros, es decir, cuatro horas luz. Las comunicaciones se efectuarán mediante las antenas del Deep Space Network.

La segunda posibilidad prevé confiar la misión a la Universidad de Colorado, que tiene experiencia en seguir misiones de estudio de la mesosfera solar. En tal caso, el Jet Propulsion Laboratory ofrecería el Deep Space Network para la navegación de las sondas, y la Universidad de Colorado se haría cargo del sistema de navegación y seguimiento de las sondas hacia Plutón. Muchas operaciones rutinarias podrían también ser seguidas por estudiantes de la universidad asesorados por sus profesores, y los técnicos del JPL intervendrían sólo en situaciones críticas o anormales.

Además, y siguiendo la política de fuerte reducción de costes, deberían aplicarse todos los conocimientos actuales para que, durante largos períodos, fuera innecesaria la intervención sobre las sondas, que deberían dejarse en una especie de letargo durante el mayor tiempo posible.

MÁS ALLÁ DE PLUTÓN

El posible descubrimiento de numerosos objetos más allá de la órbita de Neptuno y Plutón, en la franja de espacio definida como cinturón de Kuiper, hace que haya surgido otra fascinante dimensión hacia la cual podría dirigirse la misión a Plutón. Los objetos del cinturón de Kuiper probablemente están constituidos por los mismos elementos que forman el sistema solar, elementos que no han variado en más de 4.500 millones de años. Por eso, la conclusión de una misión planetaria de este tipo podría tener un enorme éxito, ya que no sólo permitiría obtener un cuadro de todo el sistema solar después de que las sondas Pioneer, Viking, Mariner y Voyager nos hayan hecho observar de cerca los otros planetas, sino que constituiría una valiosa ayuda para conocer el modo en que la nebulosa que había en esta zona de nuestra Galaxia se transformó hasta crear nuestro sistema solar.

EL FUTURO DE ITALIA EN EL ESPACIO

En un país tecnológicamente avanzado como es Italia, la investigación espacial constituye una iniciativa insustituible. Para la consecución de un objetivo tan ambicioso, la Agencia Espacial Italiana, la ASI, se ha convertido en el instrumento primordial de gestión de los programas con financiación pública del sector espacial.



La pertenencia de Italia al sector espacial puede considerarse ya consolidada, con unas iniciativas y unos éxitos que se remontan a los comienzos de la investigación aeroespacial. El Centro de Investigaciones Aeroespaciales de la Universidad de Roma ha descollado ya en la realización de los satélites científicos San Marco. El desarrollo y las operaciones de lanzamiento de los satélites desde la base de Malindi, en Kenia, se encuadraron en un proyecto de cooperación con la NASA, que comenzó en 1962.

INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

TETHERED: en cooperación con la NASA, el objetivo general del programa Tethered Satellite System (TSS) fue verificar las posibilidades de utilización del movimiento orbital de un sistema formado por dos cuerpos conectados por un cable y empleado en una vasta gama de aplicaciones relacionadas sobre todo con las actividades de la Estación Espacial, de plataformas orbitales permanentes y de misiones interplanetarias. Entre las posibles aplicaciones cabe citar:

- las transmisiones de señales de radio de baja frecuencia;
- la producción de corriente eléctrica;
- la realización de un motor para la Estación Espacial;
- experimentos, como la galería del viento.

SAX: el satélite SAX se construyó en el marco de un programa internacional de la ASI con la participación de la Agencia Aeroespacial Holandesa y los institutos científicos holandeses de la ESA. El programa,



A la derecha, fotografía de las fases inmediatamente anteriores al lanzamiento del transbordador espacial que lleva a bordo el satélite Tethered, el «satélite-traílla». Los dos vuelos de este satélite, de concepción italiana y con astronautas italianos a bordo del transbordador, pasaron por diversas peripecias. En la primera ocasión, el cable que sujetaba el satélite se desplegó sólo unas decenas de metros, pero el Tethered se recuperó. En el segundo vuelo, el cable se extendió en el espacio casi por completo, pero el satélite se perdió durante la recuperación. A pesar de todo, los resultados obtenidos confirmaron la viabilidad del proyecto, que se propone producir energía eléctrica en el espacio.

A la izquierda, representación pictórica de la sonda Cassini. Este proyecto tiene como objetivo el envío de una sonda automática al sistema de Saturno, sonda que, a su vez, soltará una minisonda (la Huygens) en la atmósfera de Titán, uno de los satélites principales de aquel planeta. La participación de Italia consiste en el proyecto de un sistema de sensores para teledetección.



todavía en curso, ha dado ya resultados óptimos, con el descubrimiento y la identificación de una fuente de rayos gamma. El satélite escruta el firmamento para estudiar fuentes galácticas y extragalácticas de rayos X en la banda de energía de 0,2 a 300 keV.

CASSINI: el desarrollo, promovido por la ASI, de sensores para teledetección de gran resolución basados en sistemas activos de microondas (Radar de Apertura Sintética en banda X, X-SAR), ha permitido a la Agencia participar amplia y articuladamente en el programa de exploración interplanetaria del planeta Saturno y sus satélites, especialmente Titán. Este programa, promovido por la NASA, recibió el nombre de Cassini.

SOHO: es un satélite científico para observaciones del Sol. La estructura, la composición química y la dinámica del interior de nuestra estrella, así como la composición de su atmósfera y la del viento solar son objeto constante de las investigaciones de este satélite lanzado en 1995. Los resultados son ya importantes. Italia participó en el proyecto con la construcción de algunos sistemas de alimentación y control.

CLUSTER: tenía que ser un grupo de satélites, que actualmente estaría en actividad, para el estudio de la interacción del Sol con el plasma y el campo magnético en la región de la magnetosfera. Las cuatro sondas, trabajando en formación, habrían permitido representar tridimensionalmente el

encuentro entre el viento solar y el campo magnético terrestre. El lanzamiento, en 1996, no tuvo éxito a causa de la explosión del nuevo lanzador Ariane-5.

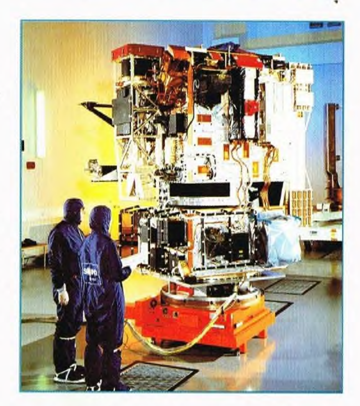
Iso: son las siglas de Infrared Space Observatory. En realidad, se trata de un satélite para astronomía infrarroja de la ESA, que opera con longitudes de onda de 2,5 a 240 micras, destinado a la exploración del universo desde el exterior del sistema solar hasta las fuentes galácticas más lejanas. Fue lanzado con éxito en 1996, e Italia participó en el proyecto con la construcción de algunos aparatos y sensores para la medición del equilibrio del satélite.

Xmm: son las siglas de un satélite de la ESA para la observación de emisiones de rayos X procedentes del cosmos. El lanzamiento está previsto para 1998.

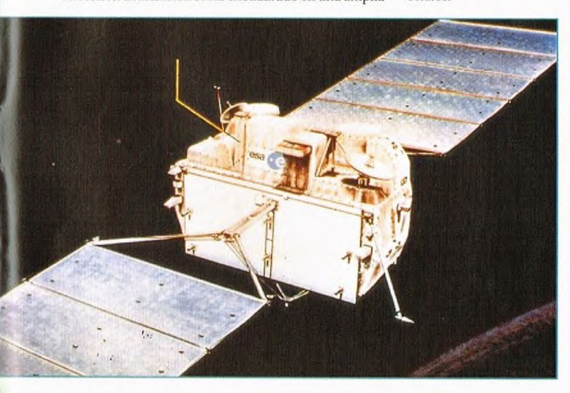
Eureca: es una plataforma espacial europea reutilizable (European Retrievable Carrier) para experimentos de microgravedad, observación solar y tecnología de los materiales. En la práctica, se trata de un grupo de instrumentos que pueden ser puestos en órbita por un transbordador, permanecer en el espacio durante varios meses y ser devueltos a la Tierra por otro transbordador. El lanzamiento de la plataforma tuvo lugar en 1992. Por el momento, y a corto plazo, no se prevén nuevos lanzamientos.

Lageos II: es un satélite para investigaciones de geodinámica y para el estudio de la estructura del campo gravitatorio terrestre, en el marco de un amplio programa de colaboración entre la ASI y la NASA, en el ámbito de las Ciencias de la Tierra. Su feliz lanzamiento se efectuó en 1992.

Geodesia: el programa de Geodesia Espacial tiene por objeto el proyecto y la realización de sistemas de vanguardia para la observación de la Tierra desde el punto de vista de la cinemática de las placas continentales y de la descripción de los movimientos terrestres. Esta misión se ha encuadrado en una amplia colaboración internacional con Estados Unidos, Alemania y Holanda. Centralizada en la Estación ASI para la Geodesia Espacial, en Matera, empezó a ser operativa en 1983.



En los Laboratorios Marconi de Portsmouth (Inglaterra), dos técnicos efectúan algunas pruebas en la sonda Soho. Es el mes de julio de 1994, y la Soho sería lanzada el 2 de diciembre del año siguiente. El objetivo principal de esta sonda es investigar la estructura interna del Sol, estudiando su período de oscilación y las variaciones de emisión. La Soho también estudia los fenómenos físicos que forman y calientan la corona solar y generan el viento solar. Proyectada para una misión de al menos dos años, teóricamente está en condiciones de funcionar cuatro años más.



Abajo, dibujo esquemático de la plataforma espacial reutilizable europea Eureca (European Retrievable Carrier), lanzada en 1992. La Agencia Espacial Italiana participa en este proyecto. En la plataforma se han hecho diversos experimentos automáticos. Los paneles solares de la plataforma se han empleado para ensayar nuevos tipos de células solares.

TELECOMUNICACIONES

Italsat: desarrolla un sistema de telecomunicaciones nacionales mediante una red de satélites. Actualmente hay en órbita dos satélites Italsat: el segundo lleva una carga para las telecomunicaciones en banda L, que permite la comunicación con y entre equipos móviles.

Artemis: es un satélite avanzado de la ESA para telecomunicación y transmisiones de datos. También se ha previsto la demostración de un sistema de propulsión iónica. El lanzamiento del satélite está fijado para 1998.

Drs: Data-Relay System es un sistema europeo de dos satélites de telecomunicación para el relanzamiento de datos, derivado en parte del ARTEMIS, con el cual constituye la misión DRT M de la Agencia Espacial Europea. El lanzamiento se prevé para 1999, aunque su realización no es segura.

Prodat y Msbn: se trata de sistemas operativos para comunicación de datos vía satélite entre medios móviles.

Argo: es un sistema completo de telecomunicaciones para protección civil.

Ecs: satélites para telecomunicaciones en banda Ku. Cubre el continente europeo para estaciones TV vía cable, telefonía, servicios especiales y Eurovisión. El lanzamiento se ha fijado para 1998.

Marecs: versión del ECS para empleos marítimos. El primer lanzamiento se produjo en 1981 y el segundo en 1984.

Otros proyectos: los proyectos de satélites GLOBALSTAR, SICRAL, INTELSAT, SARIT, EUTELSAT, INMARSAT, TELECOM, IRIDIUM, INSAT, ARABSAT y SESNET se encuentran en diversas fases de realización. Estos satélites tienen varios objetivos y planes de colaboración, según cuál sea su destino o las relaciones entre los países participantes en los proyectos.

OBSERVACIÓN DE LA TIERRA

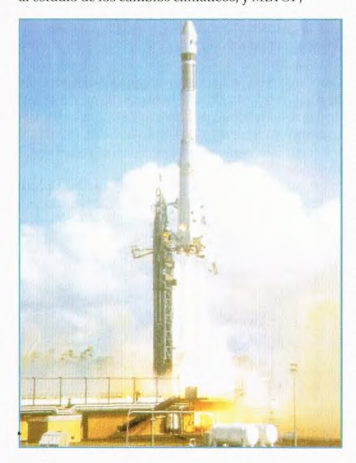
X-Sar: el programa, en colaboración con la Agencia Espacial Alemana, DARA, ha comportado el desarrollo de un radar de apertura sintética (SAR) que opera en banda X (9,6 Ghz) con polarización vertical. El objetivo de este sistema es la observación de la Tierra con un proceso de alta resolución, independiente de la presencia de nubes y con la adquisición de datos referentes a la geología, la hidrología, la vegetación, la oceanografía, etc. El primer lanzamiento se efectuó en 1993 y el segundo en 1995. Los datos se hallan en fase de elaboración.

Ers: son satélites radar de la ESA, proyectados para la observación de la Tierra. Prevén diversos sensores y experimentos. Entre los primeros están el Active Microwave Instrument (AMI), el Radar Altimeter (RA), el Along Track Scanning Radiometer (ATSR), el Precise Range and Range-rate Equipment (PRARE), un reflectómetro láser, un SAR, un dispersiómetro para la medida del viento, y el Global Ozone Monitoring Experiment (GOME). El lanzamiento de los dos satélites actualmente activos se produjo en 1991 y 1995, respectivamente.

Poem: se trata de una misión de la ESA para observación en órbita polar: ENVISAT, una plataforma para poner en órbita polar, destinada al estudio de los cambios climáticos, y METOP, una investigación para estudios meteorológicos y climáticos.



Arriba, fotomontaje que representa el satélite ISO (Infrared Astronomical Satellite) en órbita alrededor de la Tierra. Este satélite, que opera en el infrarrojo, fue lanzado en 1995 después de muchos aplazamientos. Sigue siendo operativo y permite hacer observaciones en la zona del espectro electromagnético comprendida entre 2,5 y 200 micras. Está destinado principalmente a la observación de las nubes de gas interestelar y de las regiones en las que se están formando las estrellas con sus correspondientes sistemas planetarios.



A la izquierda, lanzamiento del cohete europeo Ariane, que compite con los transbordadores espaciales estadounidenses y con los lanzadores rusos para la puesta en órbita de cargas científicas.

Meteosat: son satélites operativos meteorológicos europeos. El primero se lanzó en 1977.

SISTEMAS DE LANZAMIENTO

Ariane: es el nombre de un sistema de lanzadores europeos con una significativa aportación italiana (aproximadamente el 15%). El primer lanzamiento del Ariane-1 se efectuó en 1979.

Iris: es una fase utilizable una vez colocada en órbita terrestre. Instalado en los transbordadores, podría integrarse como una tercera fase al lanzador VEGA.

San Marco Scout: es el estudio de un lanzador italiano para pequeños satélites, derivado del lanzador estadounidense Scout.

ESTRUCTURAS ESPACIALES

Mplm: módulo presurizado que formará parte de la estación internacional ALPHA. Se le añadirán otras partes integrantes para la misma estación espacial.

Robótica: en los últimos años se han hecho diversos estudios referentes tanto a la parte del sistema espacial como a los aspectos del sistema robótico. En especial, se ha puesto en marcha el programa Spider, que proyecta la construcción de un robot para reparaciones automáticas en el espacio.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

ATRAPADOS POR LA COLA

ESTRELLAS Y GALAXIAS

CUÁSARES Y GALAXIAS ACTIVAS

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

LOBO-ESCUADRA

CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

EMISIÓN RADIOELÉCTRICA

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

GIOTTO: MISIÓN HALLEY

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

46



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

PETICIÓN DE FASCÍCULOS ATRASADOS

Válido sólo para el territorio español y para no suscriptores.

Si desea recibir algún fascículo atrasado o tapas, rellene en LETRAS MAYÚSCULAS este boletín y envíelo a:
PLANETA-DeAGOSTINI, Apartado de Correos N.º 2.867 - 08080 Barcelona, o llame al Tel. **902 288 288***

DATOS PERSONALES:

APELLIDOS

NOMBRE

CALLE O PLAZA

N.º PISO PUERTA ESC.

CÓDIGO POSTAL POBLACIÓN

PROVINCIA EDAD

TELÉFONO PROFESIÓN

FIRMA (Imprescindible)

• Recibirá contrarreembolso, más gastos de envío todo el material que nos haya solicitado.

SOLICITUD:

EL UNIVERSO
ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

Indique los números de los fascículos atrasados que desea recibir:

/ / / / / / / / /

/ / / / / / / / /

N.º de tapas que solicita: ______

Indique si desea recibir la versión con vídeo o sin vídeo:

Con vídeo ☐ Sin vídeo ☐

• Planeta-DeAgostini mantendrá su servicio de petición de atrasados hasta un plazo máximo de 18 meses a partir de la fecha de venta de cada uno de los números que forman la colección.

ATRAPADOS POR LA COLA

Los resultados de la misión de la sonda Giotto, que se aproximó primero al cometa Halley y después al Grigg-Skjellerup, han sido excepcionales. Por primera vez se ha podido ver y analizar de cerca el núcleo de un cometa, lo cual ha permitido a los astrónomos comparar sus teorías con las observaciones, ampliando así nuestro conocimiento sobre el origen y la composición de estos astros.





En 1986, en el curso de su peregrinar por el sistema solar, el cometa Halley, tal vez el más famoso de los cometas periódicos, pasó como cada 76 años por las proximidades de la Tierra. Era una ocasión excelente para comprender mejor estos objetos celestes antiquísimos que llevan información sobre los primeros momentos de nuestro sistema planetario; los astrónomos no la dejaron escapar. Se pusieron en marcha varias misiones con sondas automáticas destinadas a acercarse todo lo posible al cometa e indagar los secretos del núcleo, imposible de observar desde la Tierra porque lo oculta la luminosa cabellera que lo rodea. Las sondas enviadas fueron la europea Giotto, las soviéticas Vega-1 y Vega-2 y las japonesas Sakigake y Suisei.

La Giotto, así llamada en honor del celebérrimo pintor que representó el cometa Halley en los frescos de la capilla de los Scrovegni, en Padua, fue lanzada por un Ariane-1 el 2 de julio de 1985. El 13 de marzo de 1986, después de un viaje de más de ocho meses, alcanzó el cometa: pasó a una distancia mínima de su núcleo inferior a 600 km y transmitió una serie de detalladas imágenes de excepcional valor científico. Con anterioridad, una sola nave automática se había acercado a un cometa:



Representación artística del encuentro de la sonda Giotto con el cometa Halley.

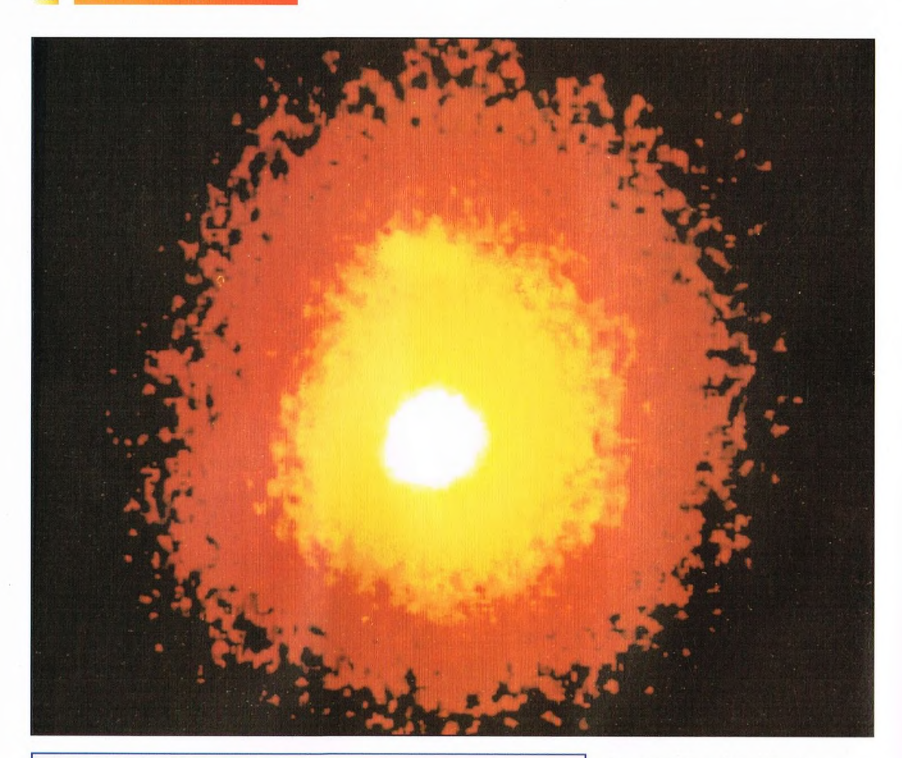


Imagen con falsos colores del cometa Grigg-Skjellerup, tomada desde la Tierra con un telescopio de 3,5 m de diámetro el 24 de mayo de 1987.

UN ENCUENTRO «DOLOROSO»

El acercamiento al núcleo de un cometa es una operación muy difícil para una sonda a causa de la gran cantidad de polvo que bombardea esta última. Todas las naves empleadas para ir al encuentro del Halley han sufrido daños en mayor o menor grado.

La Giotto dejó de enviar imágenes unos segundos antes de la máxima aproximación y su espejo quedó dañado cuando la sonda se encontraba a unos 1.000 km de su objetivo.

La sonda japonesa Suisei fue golpeada por un «proyectil» de cerca de un miligramo de masa cuando se encontraba a unos 300.000 km del cometa y, como consecuencia de ello, sufrió un cambio de orientación.

Las Vega soviéticas sufrieron varios daños: un detector de plasma quedó irremediablemente averiado antes del encuentro con el cometa, una antena se rompió y los paneles solares quedaron casi completamente destruidos, especialmente los de la sonda Vega-2.

Pese a la pequeña masa de polvo que interviene en estos «choques» espaciales, los efectos producidos son significativos debido a la alta velocidad de los proyectiles. Los impactos más potentes que sufren las sondas son comparables a los que ocasionaría una piedra grande, del orden del kilogramo, que cayera al suelo desde el tercer o el cuarto piso de un inmueble.

la sonda ICE (International Cometary Explorer) de la NASA, que en septiembre de 1985 atravesó la cola del cometa Giacobini-Zinner a unos 7.800 km del núcleo.

UNA CUESTIÓN DE SINCRONIZACIÓN

La toma de imágenes por parte de la Giotto no fue cosa fácil. Por razones de estabilidad, la sonda giraba sobre sí misma con un período de unos cuatro segundos. Prácticamente en cada vuelta los instrumentos de a bordo debían volver a localizar el cometa, para lo cual se utilizaba un software muy sofisticado. La imagen del cometa, por tanto, atravesaba bastante



Espectacular imagen del cometa Halley durante su paso cerca de la Tierra en 1986. El núcleo del cometa es el objeto brillante visible en la parte inferior de la foto.

rápidamente el plano focal en el que estaban situados los instrumentos de detección. El tiempo de exposición de las imágenes fotográficas debía ser muy breve, pues de lo contrario aparecerían movidas. Se utilizaron tiempos de cerca de un milisegundo para las primeras imágenes, cuando la sonda no se hallaba todavía en la fase de máxima aproximación, y de unos cien nanosegundos (un nanosegundo = una milmillonésima de segundo) para las imágenes más próximas.

Después había que sincronizar perfectamente el paso de la imagen del cometa por el plano focal con la lectura efectuada por los sensores electrónicos de acoplamiento de carga (CCD), encargados de formar materialmente la imagen. Aunque todo funcionó de modo muy satisfactorio, unos 15 segundos antes del momento de máxima aproximación una brusca caída de corriente en la sonda cortó casi por completo los contactos de radio.

Es muy fácil comprender por qué se produjo este incidente. Piénsese que la sonda estaba viajando a una velocidad altísima, de unos 68 km/s respecto al cometa, en una zona rica en partículas de polvo cometario que la bombardeaban ininterrumpidamente. Debió de producirse un impacto particularmente violento, tal vez con una partícula de un milímetro de diámetro, porque de pronto el período de rotación de la Giotto pasó de 3,998 segundos a 4,010 segundos y el eje de rotación giró 0,9 grados, aproximadamente. Se tardó unos 30 minutos en lograr que los sistemas automáticos de estabilización devolvieran la sonda a una situación ideal. No obstante, ya no fue posible utilizar la Halley Multicolor Camera (HMC) para la toma de imágenes.

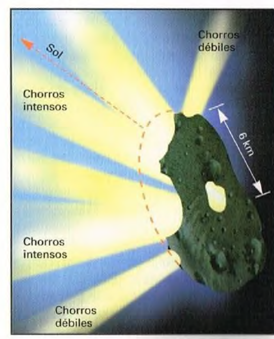
A pesar de todo, la aproximación al cometa permitió recoger un total de 2.043 imágenes del núcleo.

EL CORAZÓN DEL COMETA

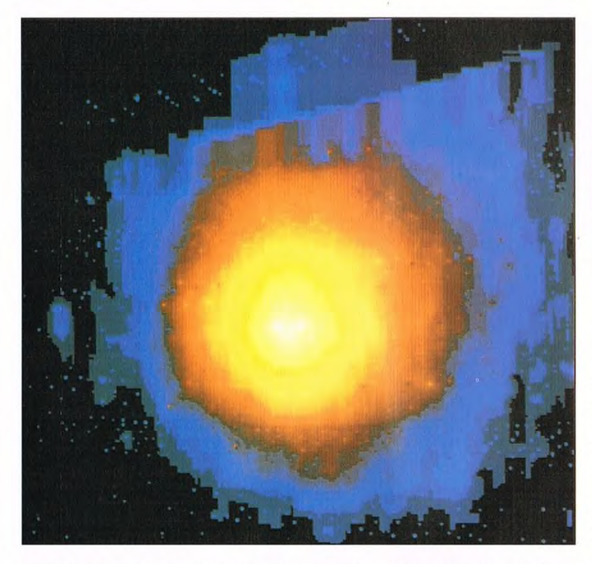
La parte más importante del cometa es su núcleo, cuyo tamaño oscila entre unos pocos kilómetros y unas pocas decenas de kilómetros. Cuando transita cerca del Sol, este auténtico «corazón» del astro desarrolla la cabellera, que rodea el núcleo, y las colas, que se extienden por el espacio a lo largo de decenas o centenares de millones de kilómetros. Había una gran expectación entre la comunidad científica ante la posibilidad de ver por primera vez un núcleo cometario, hasta entonces inobservable directamente.

Las imágenes transmitidas por la Giotto indicaron que el núcleo del cometa Halley es un objeto irregular, de forma vagamente elipsoidal, con unas dimensiones aproximadas de 16 × 8,2 × 8,4 km. El núcleo es de color oscuro y se presenta muy accidentado en los bordes, en los cuales son visibles auténticos cráteres de impacto. Está formado por rocas y polvo englobados en hielo y dióxido de carbono sólido a una





Abajo, a la izquierda, una de las mejores imágenes del núcleo del Halley tomadas por la Giotto. En ella son claramente visibles las regiones de la superficie del cometa que emiten violentos chorros de materia, cuya disposición e intensidad se reproducen en el dibujo de la derecha. El Sol se encuentra arriba, a la izquierda.



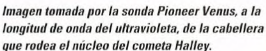
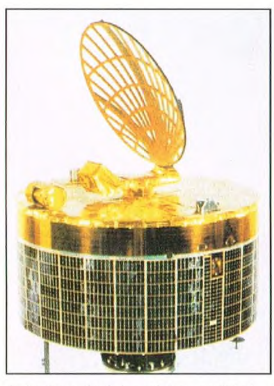


Imagen tomada por la sonda Pioneer Venus, a la longitud de onda del ultravioleta, de la cabellera que rodea el núcleo del cometa Halley.



Arriba, fotografía de la sonda japonesa Suisei, lanzada hacia el cometa Halley el 18 de agosto de 1985 desde el Kagoshima Space Center. El 7 de enero del mismo año se lanzó una sonda gemela de ésta, la Sakigake.

temperatura estimada en 230 K (unos 40 grados por debajo del cero de la escala centígrada). Se trata de una temperatura superior a la prevista por las teorías (alrededor de 200 K), por lo que se cree que el núcleo helado está cubierto por una corteza de unos pocos centímetros de espesor cuya baja reflectividad (sólo el 3% de la luz incidente se refleja hacia el exterior) lleva a pensar que se compone principalmente de rocas porosas compuestas de carbono, que absorbe eficazmente la luz.

CHORROS EMITIDOS POR EL NÚCLEO

Las imágenes muestran con claridad que algunas zonas activas del núcleo oscuro emiten chorros luminosos, especialmente prominentes en la parte orientada al Sol. Es como si la capacidad de expulsión de la materia se redujera en la parte en sombra. Además, los chorros no son rectilíneos sino que tienden a curvarse. El fenómeno podría deberse a la rotación del núcleo, que la sonda Vega estimó en unas 52 horas en sentido antihorario.

Como se ha dicho, los soviéticos enviaron dos sondas a la cita con el cometa Halley. La Vega-1 y la Vega-2, lanzadas en 1984, eran fruto de la colaboración entre la URSS, otros países del este europeo y algunos países occidentales. Las sondas llegaron primero a Venus, en cuya superficie depositaron algunos instrumentos, y se acercaron al cometa unos días antes que la Giotto, aunque su aproximación máxima al núcleo fue de 8.000 km. Las Vega enviaron a la Tierra unas 1.500 imágenes tomadas desde un ángulo diferente que las de la Giotto.



Imagen del cometa Grigg-Skjellerup tomada el 29 de junio de 1992 por el telescopio NTT, de 3,5 m, del ESO. En aquel momento, el cometa se encontraba a unos 220 millones de kilómetros de la Tierra y su cabellera se extendía unos 40.000 km por el espacio.

ESPECIES PRINCIPALES

En la cabellera de un cometa es posible identificar muchos elementos químicos en forma de átomos y de compuestos. En el cometa Halley, que es el que se ha estudiado con mayor detalle, los astrónomos han encontrado las especies siguientes:

Especies principales:
agua (H_2O), formaldehído (H_2CO), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), amoníaco (NH_3), ácido cianhídrico (HCN), carbonilsulfido (OCS)

Especies secundarias:
compuestos de hidrógeno monoatómico (OH, CH, NH)
compuestos de hidrógeno diatómico (CH_2, NH_2)
compuestos de carbono (C_2, C_4)
cianógeno (CN)
átomos (H, C, O, N, S...)

Iones:
grupo del agua (H_3O^+, H_2O^+, OH^+)
orgánicos (CO_2^+, CO^+, C^+, CH^+)

Polvo:
carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno (CHON), silicio (silicatos, FeS, CS...).

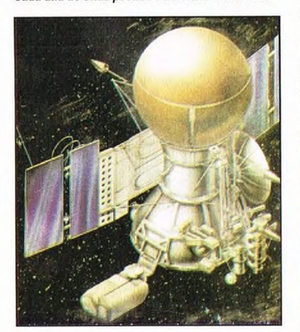


Fotografía de aficionado del cometa Halley durante su paso más reciente, en 1986. La imagen fue tomada con un objetivo de 100 mm a f/2,8 y con 10 minutos de exposición.

UN NUEVO OBJETIVO

Tras sobrevolar la sonda Giotto durante 15 minutos el núcleo del Halley, la misión podía considerarse virtualmente concluida. Una vez recuperado plenamente, al cabo de media hora, el contacto por radio, los técnicos de control de vuelo del ESOC, el centro de operaciones espaciales de la ESA con sede en Darmstadt (Alemania), comenzaron una larga y sistemática investigación para averiguar los daños sufridos por los instrumentos de la sonda.

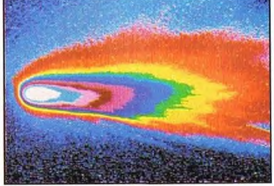
Dibujo de una sonda soviética Vega. Las sondas Vega derivaban de las Venera, que fueron construidas para la exploración de Venus. Cada una de ellas pesaba casi cinco toneladas.



Pese a la avería de la HMC, el resto de los instrumentos siguió funcionando con plena eficacia, por lo que los astrónomos decidieron tratar de prolongar la misión enviando la Giotto hacia otro cometa, el Grigg-Skjellerup. La sonda se mantuvo en «hibernación» durante unos años. Se reactivó en los primeros meses de 1990 y el 2 de julio del mismo año volvió a pasar por las cercanías de la Tierra para aprovechar el efecto de honda gravitatoria de nuestro planeta. La sonda llegó al nuevo cometa el 10 de julio de 1992; a las 10.30 de dicho día pasó a unos 200 km de su núcleo.

El Grigg-Skjellerup es un cometa descubierto en 1902. Tiene un período de 5,10 años y pertenece al grupo de los cometas «jovianos», cuyas órbitas sufren continuas modificaciones a causa de la fuerza gravitatoria del planeta mayor del sistema solar. La Giotto midió sobre todo la interacción del cometa con el viento solar.

Abajo, imagen con falsos colores de la cabellera del cometa Halley. Este tipo de elaboración permite poner de manifiesto pequeñas diferencias de luminosidad y estructuras finas que de otro modo no serían visibles.



Durante la aproximación, a una distancia de unos 600.000 km del núcleo, la sonda empezó a detectar la presencia de los primeros iones cometarios. Luego registró una zona de vacío relativo debido a la compresión producida por el viento solar; en los instantes de máxima aproximación al núcleo, los instrumentos detectaron tres impactos con partículas bastante masivas, uno de los cuales desplazó ligeramente la antena principal de la nave.

La cabellera de polvo del Grigg-Skjellerup no era muy larga (unos 30.000-40.000 km) y tampoco su cola era tan luminosa como la del Halley. El hecho se explica teniendo en cuenta que la de éste perdía unas 30 toneladas por segundo de materia, frente a 10-100 kg la del Grigg-Skjellerup.

EL FUTURO: LA MISIÓN ROSETTA

En el campo de la exploración de los cometas, la Agencia Espacial Europea (ESA) ha previsto para los próximos años una misión que parece de ciencia ficción. La sonda Rosetta, que debería partir en el 2003 con un lanzador Ariane-5, será enviada al cometa Wirtanen. El encuentro se producirá al cabo de unos años de viaje y varios impulsos gravitacionales por parte de Marte y la Tierra. Pero lo excepcional de la misión es que un módulo deberá aterrizar en el núcleo del cometa para efectuar medidas sobre el terreno destinadas a estudiar con detalle su composición y su estructura.

De tener éxito esta misión, se podrán reescribir todos los libros sobre cometas y se dispondrá de importantísimas informaciones sobre el origen del sistema solar.

CUÁSARES Y GALAXIAS ACTIVAS

Al grupo aparentemente compacto de las galaxias, objetos que nos parecen eternos e inmutables, pertenecen las galaxias activas, que emiten una cantidad de energía mayor que las demás y comprenden unos objetos interesantes y todavía poco estudiados: los cuásares.



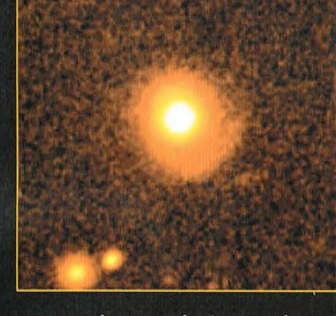
Pocos cuerpos celestes del universo transmiten una sensación tan intensa de inmutabilidad como las galaxias. Los pequeños cambios que se producen en su interior, debidos a la evolución de su población estelar, pasan casi inadvertidos, incluso a escala cósmica. Pero no todas las galaxias tienen una apariencia tan tranquila. Además de las galaxias «normales», como nuestra Vía Láctea y la galaxia de Andrómeda, existen otras cuya vida está sujeta a fenómenos extremadamente violentos. Se trata de las llamadas galaxias activas, una categoría a la que pertenecen unos objetos misteriosos conocidos como cuásares.



GALAXIAS ACTIVAS

De un modo bastante aproximado, aunque sustancialmente correcto, la emisión luminosa de una galaxia puede describirse como la suma de las emisiones de los miles de millones de estrellas que la componen. La galaxia, por tanto, «lleva la firma» de la población estelar predominante. Tal cosa, sin embargo, no parece cumplirse en el caso de las llamadas galaxias activas, cuya emisión luminosa parece ser en buena parte de origen no estelar. Otra característica anómala de las galaxias activas es el hecho de emitir globalmente mucha más energía que las galaxias «normales», especialmente en forma de radioondas, rayos ultravioleta y radiaciones de alta energía (rayos X y gamma). Todos los astrofísicos están de acuerdo en que los núcleos de estas galaxias «extrañas» albergan fenómenos especiales que no se producen en las demás.

En cerca de medio siglo de observación se han identificado galaxias activas de características muy diferentes, que se han subdividido en clases distintas: las galaxias Seyfert, los cuásares y los blázares.



Fotografía de una galaxia, de desplazamiento hacia el rojo igual a 0,33, que alberga un cuásar. Esta imagen fue tomada con una exposición de 1.800 segundos por el telescopio NTT del ESO, instalado en el observatorio de La Silla (Chile). La fotografía cubre un campo de aproximadamente un minuto de arco.

Otra imagen de una galaxia que hospeda un cuásar, correspondiente esta vez a un desplazamiento hacia el rojo de 0,60, tomada también por el telescopio NTT. La exposición fue de 2.000 segundos y el campo cubierto fue también de un minuto de arco.

LAS GALAXIAS SEYFERT

Esta clase de galaxias activas recibe su nombre de una galaxia prototipo, la NGC 4151, una galaxia espiral de tipo SB, aparentemente normal, que se encuentra a una distancia de unos 15 millones de parsecs. En los años cuarenta, esta galaxia fue estudiada con mucha atención por el astrónomo estadounidense Carl Seyfert. Las fotografías tomadas por Seyfert mostraban que NGC 4151 tenía un núcleo extremadamente brillante –unos 10.000 millones de veces más brillante que el Sol– y de estructura puntiforme. Además, observaciones de varios meses de duración pusieron de manifiesto que la luminosidad del núcleo tendía a variar sensiblemente. A partir del período medio de estas variaciones fue posible establecer que las dimensiones de dicha región debían de ser extremadamente reducidas, con un radio inferior al parsec, distancia similar a la que separa nuestro sistema solar de la estrella más próxima.

Movido por la curiosidad, Seyfert obtuvo también espectros de NGC 4151, que inmediatamente resultaron peculiares comparados

CENTAURUS A

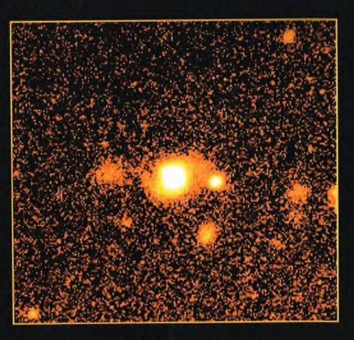
Una de las radiogalaxias más estudiadas es Centaurus A (Cen A), así llamada porque se trata de la radiofuente más luminosa de la constelación de Centauro. Cen A es también una de las más intensas del cielo. Su galaxia huésped es la NGC 5128, que está a una distancia de unos 15 millones de años luz y es el séptimo objeto extragaláctico en orden de luminosidad. NGC 5128 se caracteriza por tener una forma muy peculiar, a mitad de camino entre una galaxia espiral y una galaxia elíptica. La emisión radioeléctrica de la radiogalaxia no siempre sigue fielmente el perfil de luminosidad óptico de la galaxia huésped. En el caso de Cen A, por ejemplo, la emisión radioeléctrica se extiende simétricamente en dirección perpendicular al eje de simetría de la galaxia y forma dos lóbulos característicos.

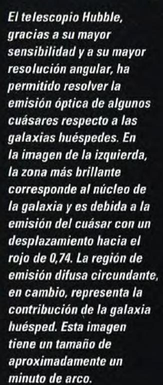


Arriba, Centaurus A, en la constelación de Centauro.

con los de las restantes galaxias. Además de la emisión de fondo y de las líneas normales de emisión/absorción debidas a la contribución de la población estelar de la galaxia, los espectros mostraban otras rayas de emisión extremadamente intensas, como la del oxígeno dos veces ionizado, las cuales, según las leyes de la física atómica, sólo podían ser emitidas por un gas muy caliente y en condiciones de falta de equilibrio. Además, estas rayas aparecían notablemente ensanchadas respecto a las correspondientes rayas «en reposo». En términos del efecto Doppler, ello quería decir que el material emisor se estaba moviendo con una velocidad radial del orden de 20.000 km/s.

Por tanto, las medidas espectroscópicas indicaban que algo extraño estaba ocurriendo en el núcleo de NGC 4151: algún cuerpo celeste misterioso debía de ser de algún modo el causante de cuanto estaba sucediendo. Con el paso del tiempo, se observaron comportamientos análogos a los de NGC 4151 en otras galaxias similares. En honor del descubridor del prototipo, a dichas galaxias se les dio el nombre de galaxias Seyfert.

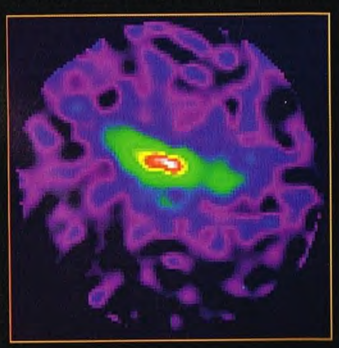




El telescopio Hubble, gracias a su mayor sensibilidad y a su mayor resolución angular, ha permitido resolver la emisión óptica de algunos cuásares respecto a las galaxias huéspedes. En la imagen de la izquierda, la zona más brillante corresponde al núcleo de la galaxia y es debida a la emisión del cuásar con un desplazamiento hacia el rojo de 0,74. La región de emisión difusa circundante, en cambio, representa la contribución de la galaxia huésped. Esta imagen tiene un tamaño de aproximadamente un minuto de arco.

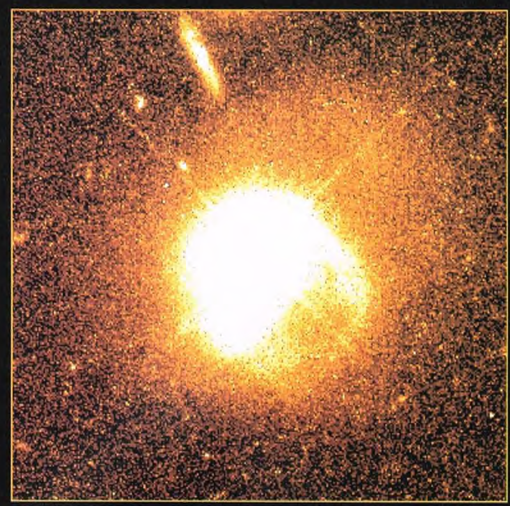
LAS RADIOGALAXIAS

En los años siguientes, la evolución de las técnicas de observación a otras longitudes de onda brindó a los astrónomos nuevos y preciosos medios de investigación de las galaxias activas. Fueron especialmente importantes las observaciones en la banda de las radioondas, que a fines de los años cuarenta empezaban a efectuarse a gran escala. Los radiotelescopios revelaron emisiones radioeléctricas en algunas galaxias, que muy pronto fueron llamadas radiogalaxias. En casi todos los casos, superponiendo el mapa de intensidad radioeléctrica a la imagen fotográfica de la galaxia se observaba que la región de emisión radioeléctrica era bastante más extensa que la de emisión óptica. En particular, se podía distinguir una región de emisión radioeléctrica localizada más bien débil, que coincidía sustancialmente con el núcleo de la galaxia, y dos regiones más extensas, simétricas respecto a la primera y mucho más brillantes en su parte terminal. Estas regiones se llamaron, respectivamente, núcleo y lóbulos de la radiogalaxia. La forma alargada y simétrica de los lóbulos permitió a los radioastrónomos formular hipótesis sobre el origen de estas estructuras. La hipótesis más convincente es



A la izquierda, la radiogalaxia 4C 41.17 fotografiada a la longitud de onda de la raya Lyman Alfa del hidrógeno.





Arriba y a la derecha, dos imágenes del cuásar PKS 2349 tomadas por el telescopio espacial. El cuásar y una galaxia compañera se encuentran en una fase de colisión o de fusión. En la imagen de arriba se ve un extraño «brazo» de materia producido por este encuentro próximo. El cuásar y la galaxia distan entre sí unos 11.000 años luz, y se encuentran a unos 1.500 millones de años luz de la Tierra. La raya luminosa que está encima del cuásar es una galaxia de fondo vista de perfil. La segunda foto, tomada con diferentes niveles de contraste, permite ver mejor el núcleo de la galaxia, que por su forma y tamaño se parece a la Gran Nube de Magallanes.

que los núcleos de estas radiogalaxias emiten dos haces muy colimados de electrones relativistas, los cuales, al moverse en el seno de campos magnéticos muy intensos, emiten radiación electromagnética a través de un proceso llamado emisión sincrotrón y producen las estructuras observadas en la banda radioeléctrica. Este escenario permite explicar por qué el núcleo de las radiogalaxias, alimentando los dos chorros laterales, pierde energía y resulta más débil que las regiones circundantes. Los máximos de intensidad observados en los extremos de los lóbulos serían debidos a la interacción de los chorros con el medio interestelar.

LOS CUÁSARES

En los años sesenta, el número de radiogalaxias observadas era ya considerable. Pero el descubrimiento de una radiogalaxia no siempre se producía *a posteriori*. A veces ocurría que los radioastrónomos observaban primero la emisión en la banda radioeléctrica y luego sus colegas apuntaban sus telescopios ópticos al cielo para descubrir la galaxia correspondiente o, como se la suele llamar, la galaxia huésped. Precisamente tratando de buscar una de estas galaxias huéspedes se realizó un descubrimiento excepcional. Las imágenes ópticas parecían indicar que algunas de estas radiofuentes no estaban asociadas a galaxias, como era de esperar, sino a cuerpos de tipo estelar. Se pensó, pues, que éstos pertenecerían a una clase particular de radiofuentes hasta entonces desconocida y se los bautizó con el nombre de cuásares. Este nombre, que junto al de púlsar es muy conocido incluso fuera del ámbito de la astronomía, es el acrónimo del inglés Quasi Stellar Radio Source, es decir, Radiofuente Casi Estelar.

Lo sorprendente, sin embargo, era que los espectros ópticos de los cuásares eran

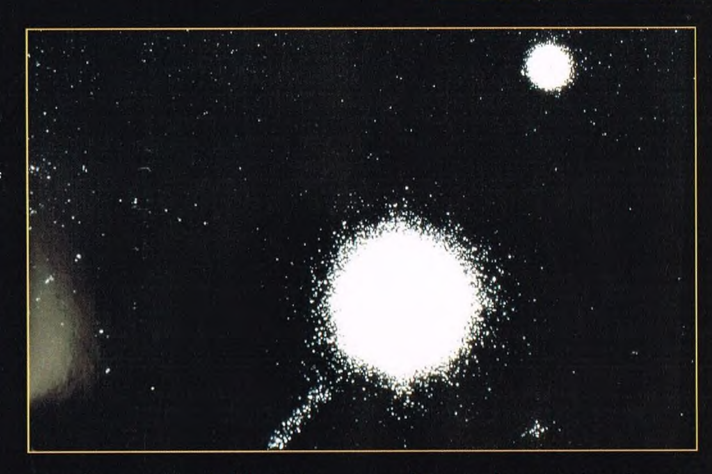


A la derecha, el cuásar 3C273, en el que se ve un brazo que se extiende hacia el exterior hasta una distancia de al menos 150.000 años luz. Este brazo podría ser el producto de una explosión dentro del cuásar: la materia que lo constituye es eyectada a una velocidad de unos 100.000 km/h. Se han detectado cuásares a distancias enormes de la Tierra, hasta 10.000 millones de años luz. Estos objetos figuran entre los más lejanos del universo conocido. Su velocidad de alejamiento, causada por la expansión del universo, se aproxima a la de la luz.

LOS BLÁZARES

Un grupo especial de cuásares son los blázares, también caracterizados por su aspecto casi estelar pero con espectros carentes de rayas de emisión. Además, su luminosidad óptica sufre variaciones mucho más acentuadas (de hasta un factor cien en pocos meses). Desde el punto de vista de la emisión de radioondas, los blázares se distinguen fácilmente de las demás radiogalaxias por su mayor luminosidad. Probablemente, el efecto es sólo aparente y se debe a la distinta orientación de los chorros de radioondas, cuya dirección estaría dirigida a lo largo de la línea de mira del observador.

Los cuásares figuran entre las fuentes de rayos gamma más potentes del cielo. Hasta la puesta en órbita del satélite GRO, sin embargo, sólo se había identificado el cuásar 3C273 en esta banda de energía. Las observaciones realizadas con el EGRET, el instrumento del GRO sensible a las más altas energías, revelaron que junto a 3C273 hay otro cuásar que emite fuertemente en la banda gamma. Se trata de 3C279 (la fuente brillante del centro de la imagen, mientras que 3C273 es la fuente más débil que aparece arriba a la derecha), uno de los cuásares más intensos jamás observados.



extremadamente similares a los de las galaxias Seyfert. Por tanto, pese a su apariencia estelar, también los cuásares debían asociarse a galaxias. Pero, si los cuásares eran galaxias, ¿por qué no aparecían como tales? La explicación llegó al cabo de algún tiempo. Los núcleos compactos de estas galaxias, de dimensiones comparables a las de nuestro sistema solar, tenían que ser mucho más brillantes que los de las galaxias Seyfert; por tanto, tenían que superar en intensidad a las regiones circundantes e impedir la observación de los brazos espirales. De la medida del desplazamiento hacia el rojo de los espectros de los cuásares es posible inferir que se trata de objetos animados con un movimiento de recesión muy fuerte, del orden de decenas de miles de kilómetros por segundo y que, por tanto, deben encontrarse a una distancia de 10.000-15.000 millones de años luz. Los cuásares, pues, figuran entre los cuerpos celestes observados más distantes del universo.

LAS OBSERVACIONES A ALTAS ENERGÍAS

En los años setenta, las potencias espaciales empezaron a poner en órbita los primeros observatorios dedicados a la exploración del cielo a altas energías. Naturalmente, algunos de los objetivos principales de estas misiones fueron las galaxias Seyfert y los cuásares. Las observaciones permitieron descubrir que estos cuerpos emitían intensamente no sólo en la banda de las radioondas sino también en rayos X y gamma.

Además, los flujos medidos variaban rápidamente a intervalos de días, horas o incluso minutos. Los datos recogidos hasta el momento permiten afirmar que las galaxias Seyfert emiten

EL CUÁSAR 3C273

El cuásar 3C273, en la constelación de Virgo, merece un lugar aparte en la historia de estos objetos (el nombre indica que se trata del objeto número 273 del Tercer Catálogo de Radiofuentes de Cambridge). En 1963, el astrónomo alemán Marteen Schmidt, estudiando las rayas de emisión de su espectro óptico, demostró que 3C273 se estaba alejando con una velocidad de recesión del orden de 44.000 km/s. Por consiguiente, no podía tratarse de una estrella, sino de una galaxia situada a unos 3.000 millones de años luz de distancia. En aquella época, 3C273 era el objeto más lejano y luminoso jamás observado. Con una magnitud aparente de 13, era también el cuásar más brillante.

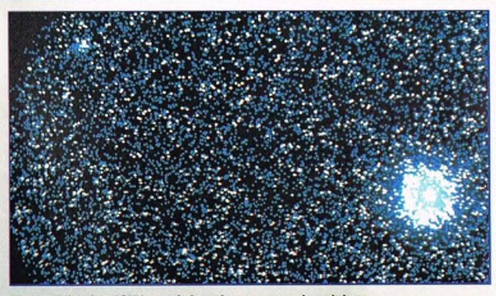


Imagen del cuásar 3C273, uno de los primeros que se descubrieron.



A la izquierda, el cuásar PG 0052-251, que dista unos 1.400 millones de años luz de nosotros. Se encuentra en el núcleo de una galaxia espiral normal, que no parece perturbada por este... incómodo huésped.

rayos gamma de energía inferior a los de los cuásares; se trata probablemente del mismo proceso físico que produce la emisión X. Los cuásares figuran entre las fuentes de rayos gamma más brillantes del cielo; se han contabilizado más de cincuenta.

Además de completar el panorama observacional, las observaciones a altas energías han representado un paso importante en el estudio de estos objetos. Los rayos X y gamma sufren una absorción menor por parte de la materia interestelar e intergaláctica que la radiación electromagnética de energía inferior. Por ello, estos rayos pueden abrirse camino más fácilmente desde el núcleo de la galaxia. Con ellos, los astrónomos han podido profundizar sus observaciones y hacerse una idea más precisa de lo que sucede en las regiones centrales de las galaxias activas.

En algunos casos, sin embargo, las observaciones a altas energías han contribuido, al menos inicialmente, a suscitar nuevos interrogantes. Sorprendentemente, muchos cuásares descubiertos gracias a su emisión X o gamma e identificados como tales a partir de su emisión óptica (apariencia de tipo estelar, pero espectro de tipo Seyfert y elevado desplazamiento hacia el rojo) no mostraban trazas de emisiones radioeléctricas aunque se observaran con los más potentes radiotelescopios. Según los catálogos más recientes, los llamados «cuásares radioquiescentes» supondrían casi el 99% del total. Para estos últimos, por tanto, el calificativo de radiofuentes casi estelares carecería de justificación. No obstante, el nombre sigue utilizándose para indicar genéricamente una determinada clase de galaxias activas (radioquiescentes o no).

LOS NÚCLEOS GALÁCTICOS ACTIVOS

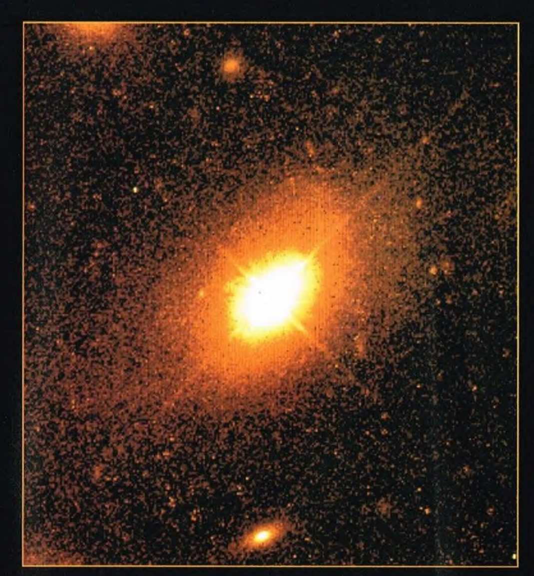
Muchos astrónomos tienden a pensar que los cuásares, las galaxias Seyfert y los blázares, más allá de diferencias fenomenológicas más o menos acentuadas, pertenecen a una única categoría de galaxias.

Por ello, a menudo se dejan a un lado las distinciones y se habla genéricamente de Núcleos de Galaxias Activos o AGN (del inglés Active Galactic Nuclei).

La idea más difundida es que los AGN son galaxias que contienen un agujero negro de enorme tamaño, del orden de millones o miles de millones de masas solares. Este agujero negro se habría



Imagen, tomada por el telescopio espacial, de la catastrófica colisión entre dos galaxias (el objeto de abajo) que suministran energía al cuásar IRAS04505-2958 (en el centro de la foto). Este objeto se encuentra a unos 3.000 millones de años luz de la Tierra. El tercer objeto brillante de la imagen (arriba) es una estrella próxima.

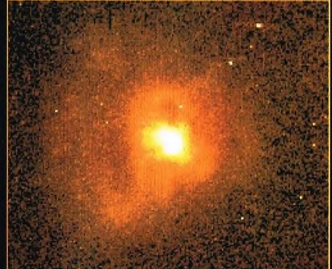


Arriba, el cuásar PHL 909, que se encuentra a unos 1.500 millones de años luz de nosotros y está situado en el centro de una galaxia elíptica de aspecto normal.

formado en las primeras fases de la vida de la galaxia, cuando la densidad de las regiones del núcleo era tan elevada que favoreció la colisión de las estrellas, las cuales se habrían agregado para formar una estructura cada vez más masiva y densa. Todavía hoy, este agujero negro gigante seguiría nutriéndose de gas interestelar y de estrellas que orbitan cerca del centro galáctico. Al precipitarse en el campo gravitacional del agujero negro, la materia liberaría parte de su energía en forma de radiación. La acreción del agujero negro alimentaría la emisión del AGN en varias longitudes de onda. En algunos casos, el proceso produciría la emisión de partículas relativistas en haces muy estrechos orientados en direcciones opuestas. Luego, estas partículas producirían los característicos chorros observados en las distintas longitudes de onda.

Por tanto, los diversos tipos de AGN no serían otra cosa que galaxias formadas alrededor de agujeros negros supermasivos. Pero todavía no se sabe con exactitud qué es lo que produce las diferencias observadas en la emisión a distintas longitudes de onda de los diversos tipos de AGN. Probablemente, la masa del agujero negro central desempeña un papel fundamental en la caracterización de la luminosidad de los AGN y la orientación de la galaxia puede determinar en algunos casos la ausencia aparente de chorros. En esta hipótesis se basan los modelos unificados de los AGN.

En la imagen de abajo, tomada por el telescopio espacial, se ven dos galaxias en fase de fusión, cuyos núcleos forman el objeto brillante de forma alargada. Estas galaxias revelan un cuásar (el IRAS13218+0522) que dista unos 2.000 millones de años luz de la Tierra.





En la imagen de la derecha se ve el cuásar PG 1012+008, en fase de colisión con una galaxia brillante, de la que dista sólo 31.000 años luz. Es posible que también la galaxia compacta visible a la izquierda esté empezando a interactuar con el cuásar.

LOBO-ESCUADRA

El Lobo y la Escuadra son dos constelaciones australes muy próximas, pese a lo cual su identificación se ha producido con muchos siglos de distancia.



El Lobo y la Escuadra son dos constelaciones poco luminosas y poco conocidas del cielo meridional. Sin embargo, entre los astros que las componen figuran objetos dignos de interés que merecen una atenta observación.

CÓMO LOCALIZAR LAS CONSTELACIONES

Podremos encontrar el Lobo una vez identificadas las «pinzas» del Escorpión y las estrellas Alfa y Beta de Centauro; la constelación buscada se encuentra precisamente entre estos astros, orientada del noreste al suroeste.

Una vez hallada la estrella más luminosa del Lobo se puede buscar la constelación de la Escuadra a unos 20 grados al este de la anterior.

LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

EL LOBO Y LA ESCUADRA

Mientras que el Lobo se remonta por lo menos al período griego, la Escuadra fue introducida por Lacaille. No se conocen leyendas relacionadas con ninguna de las dos constelaciones. Se cree que el Lobo podría estar vinculado a la vecina constelación de Centauro, que a menudo se representa ofreciendo un animal en sacrificio a los dioses. No obstante, a lo largo de los siglos la constelación se ha identificado con varias figuras: un animal selvático para los griegos y una bestia no mejor identificada para los romanos. En el Renacimiento tuvo lugar la asociación con el lobo. La Escuadra acompaña a otros instrumentos puestos en el cielo por Lacaille. Éste llenó las zonas vacías del cielo con los objetos más extraños, con la intención de recordar las obras del ingenio humano.

ESTRELLAS PRINCIPALES

La estrella Alfa del Lobo, de color azul, es la más brillante (magnitud 2,3).

Más interesante es Épsilon (magnitud 3,4), formada por tres estrellas. Los instrumentos pequeños permiten resolver este astro en dos estrellas de magnitudes 4 y 9,1, mientras que los telescopios de abertura superior a 22 cm dejan ver una compañera (magnitud 5,5) de la estrella más luminosa, situada a 0,6''.

Otro sistema compuesto es el de Eta (magnitud 3,4), un par de estrellas de magnitudes 3,6 y 7,8, situadas a una distancia de unos 15''.

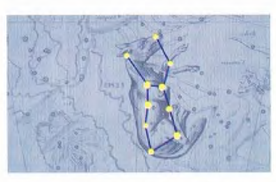


La nebulosa planetaria Shapley 1, en la constelación de la Escuadra, llama la atención por su forma casi perfectamente circular. Se formó como consecuencia de la expulsión de los gases más externos por parte de la pequeña estrella que hoy se encuentra en el centro de ella.

Análoga a Épsilon es My, formada también por tres estrellas, dos de las cuales son fácilmente distinguibles (magnitudes 5,1 y 7,2), mientras que la tercera (magnitud 5,2), la compañera de la principal, requiere instrumentos de al menos 10 cm de diámetro para separarla de su más brillante vecina.

La estrella más brillante de la Escuadra es Gamma 2 (magnitud 4); en esta constelación faltan Alfa y Beta porque en una revisión de los límites fueron a parar a constelaciones próximas.

No lejos de Gamma 2 está Gamma 1 (magnitud 5), pero la proximidad sólo es aparente. Gamma 1 se encuentra a 5.900 años luz de nosotros y Gamma 2 a sólo 74. Por tanto, las dos estrellas están demasiado lejos la una de la otra como para formar un par ligado físicamente.





Aunque vecinas en la bóveda celeste, las constelaciones del Lobo y de la Escuadra fueron identificadas en períodos muy distintos.

DÓNDE BUSCARLAS

EL LOBO Y LA ESCUADRA

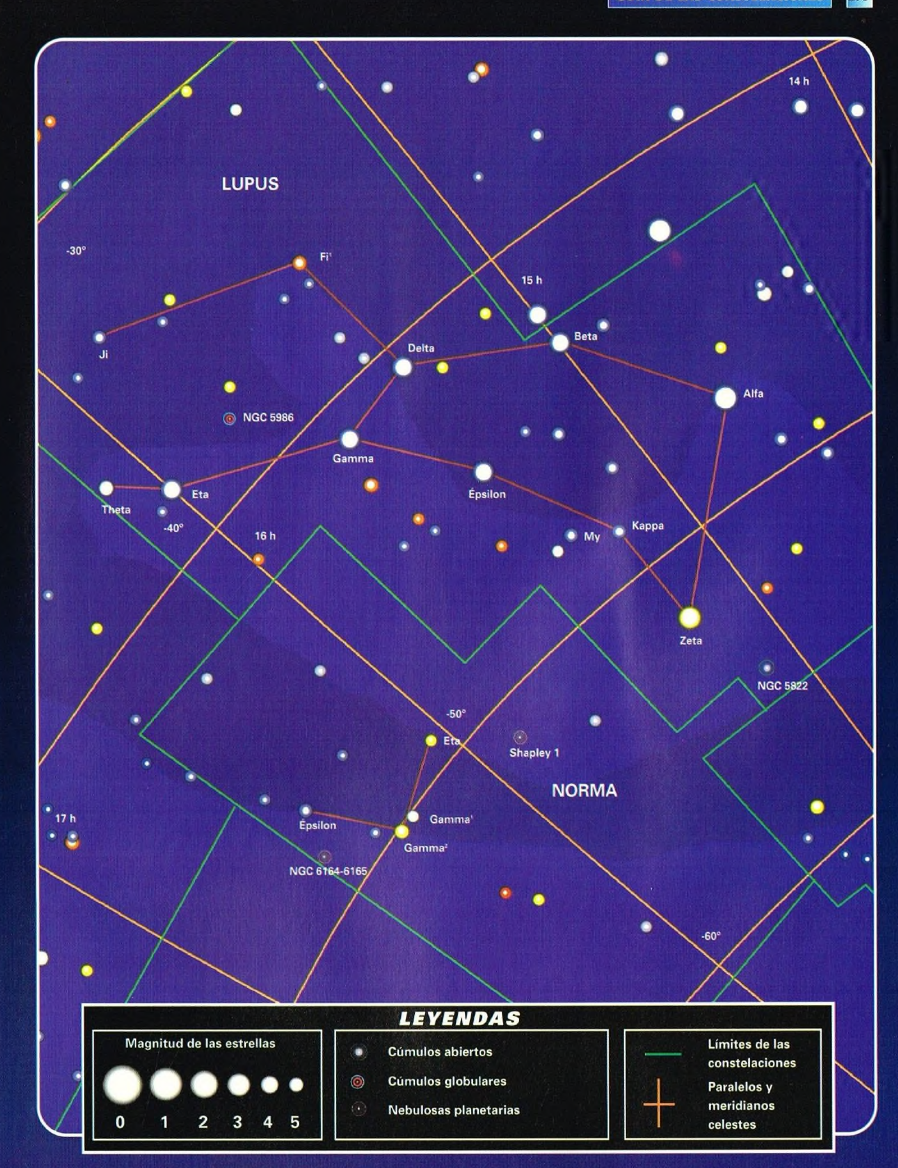
El Lobo y la Escuadra figuran entre las constelaciones de finales de primavera o de verano. El motivo por el cual el Lobo tiene orígenes antiguos estriba en el hecho de que hace miles de años era observable desde países europeos. Para poder observarla íntegramente hay que desplazarse hasta los 35° de latitud sur. La constelación del Lobo está limitada entre las 14 horas 15 minutos y las 16 horas 5 minutos de ascensión recta, y entre –30 y –55° de declinación. La Escuadra abarca una región comprendida entre las 15 horas 10 minutos y las 16 horas 30 minutos de ascensión recta, y entre –42 y –60° de declinación, aproximadamente.

OBJETOS DEL LOBO Y DE LA ESCUADRA

En estas dos constelaciones podemos encontrar objetos de distinta naturaleza.

NGC 5822, en el Lobo, es un cúmulo abierto formado por unas 120 estrellas que puede observarse fácilmente con unos prismáticos o un telescopio.

También en el Lobo encontramos un cúmulo globular, NGC 5986, que brilla con magnitud nueve. En la Escuadra hay que señalar la presencia de dos nebulosas planetarias. Una de ellas, la NGC 6164-6165, posee una forma simétrica con dos chorros que se propagan en direcciones opuestas; la otra, conocida como Shapley 1, es casi circular.


14 h
LUPUS
-30°
Fi'
15 h
Beta
Delta
Ji
Alfa
NGC 5986
Gamma
Theta
Eta
Épsilon
-40°
16 h
My
Kappa
Zeta
NGC 5822
-50°
Eta
Shapley 1
NORMA
17 h
Épsilon
Gamma'
Gamma²
NGC 6164-6165
-60°
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos abiertos
Cúmulos globulares
Nebulosas planetarias
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

EMISIÓN RADIOELÉCTRICA

La aparición de las radiocomunicaciones hizo posible el descubrimiento de fuentes de radioondas extraterrestres. Varias clases de mecanismos permiten a un cuerpo emitir este tipo de radiación.



Muchos hemos visto, probablemente en televisión, grandes antenas parabólicas situadas en lugares llanos y destinadas a la escucha del cielo en la banda de las ondas radioeléctricas. Estos instrumentos, llamados radiotelescopios, se remontan a hace unos pocos decenios, cuando se advirtió que existían fuentes de radioondas en las profundidades del cosmos. Una de las más próximas y de mayor intensidad es el Sol, que en realidad no está muy lejos de nosotros, pero la mayoría se encuentra a bastantes años luz de la Tierra y a menudo se trata de objetos extragalácticos.

¿Qué procesos llevan a la emisión de radioondas tan intensas que pueden ser detectadas a distancias astronómicas?

En la mayoría de los casos, la emisión de radioondas es debida al movimiento acelerado de cargas eléctricas. Heinrich Hertz, físico alemán cuya vida transcurrió a caballo de los siglos XIX y XX, teorizó la producción de radiación electromagnética por parte de una carga que se mueve aceleradamente. Hertz demostró que la intensidad de la radiación producida es proporcional al cuadrado de la aceleración de la carga (donde por aceleración se entiende una variación genérica de la velocidad de la partícula, sea ésta un incremento, una disminución o simplemente un cambio de dirección, como sucede cuando el movimiento se efectúa a lo largo de una trayectoria curva).

El primer ejemplo de radiofuente extraterrestre es el Sol. En la superficie de nuestra estrella existen campos magnéticos a veces muy intensos, mucho más que el que produce la Tierra. El efecto de un campo magnético sobre una partícula eléctricamente cargada que se mueve no paralelamente a él consiste en curvar su trayectoria, porque la fuerza ejercida es perpendicular al plano formado por la velocidad y el propio campo; por tanto, el campo magnético produce una aceleración que deja constante el valor numérico de la velocidad pero altera su dirección.

De la fórmula de Hertz se puede deducir la intensidad de producción de ondas

Los radiotelescopios, como el VLA (Very Large Array), permiten obtener imágenes detalladas de radiofuentes extensas combinando señales recogidas por muchas antenas.



Nuestra Galaxia fue la primera fuente extraterrestre detectada por los primeros y rudimentarios radiotelescopios.

electromagnéticas. La frecuencia de estas ondas está determinada por la intensidad del campo magnético y la masa de la carga acelerada. Suele corresponder a la región de las radioondas.

EMISIÓN SINCROTRÓN: LOS PÚLSARES

Un mecanismo del todo análogo se presenta en los púlsares, aunque con la diferencia de que los campos magnéticos próximos a una estrella de neutrones son mucho más intensos que en el Sol y que las partículas aceleradas –electrones en el caso de estos objetos– poseen velocidades comparables a la de la luz.

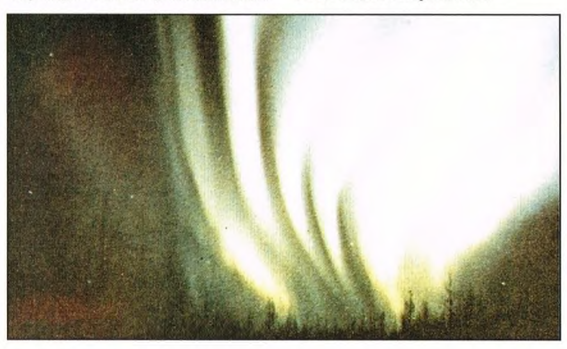
La teoría de la relatividad restringida nos dice que la masa de una partícula varía con su velocidad y que la diferencia con respecto a la masa en reposo (masa de la partícula inmóvil) es tanto mayor cuanto más se aproxima a la velocidad de la luz *(c)*. Dado que la frecuencia de la radiación emitida por una partícula depende también de su masa, este efecto relativista es importante en los púlsares y en cualquier situación en la que las partículas viajen a velocidades próximas a *c*. En el caso de los púlsares, las radioondas sufren este efecto, amén de otro efecto previsto por la relatividad: la emisión de radiación no se produce perpendicularmente a la dirección de movimiento de la carga eléctrica que la produce sino en esa misma dirección. Por tanto, los electrones próximos a un púlsar emiten un haz muy colimado de radioondas cuya intensidad no obedece a la ley de Hertz sino a otra más complicada y cuyo valor es mucho mayor que el que prevé la ley de Hertz.

EMISIÓN TÉRMICA

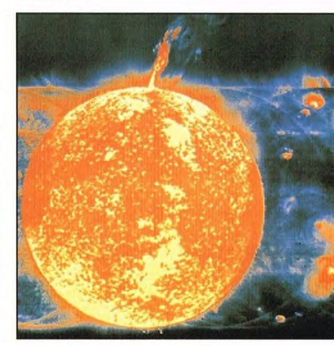
Un segundo mecanismo de producción de radiación, especialmente de radioondas, es el basado en la emisión térmica.

Todos los cuerpos emiten radiación térmica, con un espectro que depende de su temperatura. El Sol, por ejemplo, emite una gran cantidad de radiaciones de todo tipo: visible, infrarroja, ultravioleta, radio y X. Parte de esta emisión es comparable a la de un cuerpo negro a la misma temperatura que la superficie del Sol. Las estrellas más calientes emiten mayor cantidad de rayos ultravioleta, mientras que los cuerpos más fríos tienen un máximo de emisión en el infrarrojo. Todos estos cuerpos, sin embargo, son también fuentes de radioondas, pues su espectro abarca

A menudo las auroras boreales coinciden con períodos de tempestades electromagnéticas en las que las transmisiones por radio son fuertemente perturbadas. Estas perturbaciones son provocadas por intensos flujos de partículas emitidas por el Sol, que al llegar a las proximidades de la Tierra interactúan con el campo magnético terrestre y emiten radioondas.



El Sol es una de las radiofuentes más intensas de la bóveda celeste. No obstante, la gran emisión que observamos es debida también a que es la fuente más próxima; en realidad la potencia emitida es infinitamente más débil que la de otras muchas fuentes alejadas del sistema solar.





Mapa de radioondas de la Vía Láctea obtenido estudiando la radiación a 21 cm. Esta radiación la emite el hidrógeno gaseoso a una temperatura suficientemente baja; por ello, estos mapas nos indican dónde se encuentran las mayores concentraciones de este gas en nuestra Galaxia.

las longitudes de onda típicas de esta clase de radiación electromagnética.

Para que el máximo de emisión corresponda a las radioondas por un mecanismo térmico, es necesario que el cuerpo emisor se encuentre a una temperatura bajísima, muy por debajo del cero centígrado. Existe una fórmula que permite calcular la longitud de onda correspondiente al máximo de emisión térmica en función de la temperatura del cuerpo; esta ley, conocida como ley de Wien, afirma que dicha longitud de onda es inversamente proporcional a la temperatura. Invirtiendo esta ley, se deduce que para obtener un máximo de emisión térmica a la longitud de onda de tres metros, que es una longitud de onda típica para las transmisiones radiofónicas en frecuencia modulada (100 MHz), un cuerpo debe encontrarse a la temperatura de 0,0009 K, muy próxima al cero absoluto, que corresponde a –273,15 °C.

LA RADIACIÓN DE FONDO

El ejemplo más conocido de emisión radioeléctrica de origen térmico es tal vez la radiación de fondo. La teoría más acreditada del origen del universo afirma que éste surgió de una gran explosión; la temperatura, altísima pocos instantes después del «tiempo cero», habría ido disminuyendo paulatinamente hasta alcanzar el valor actual de unos pocos grados por encima del cero absoluto. Nos encontramos, pues, en un medio situado a una temperatura próxima a –270 °C, a la que corresponde un máximo de emisión de aproximadamente 1 mm (300 GHz).

El descubrimiento de la existencia de la radiación de fondo, realizado por Penzias y Wilson en 1965, constituyó una de las confirmaciones de la teoría del Big Bang, el suceso que dio lugar al universo.

LOS MÁSERES

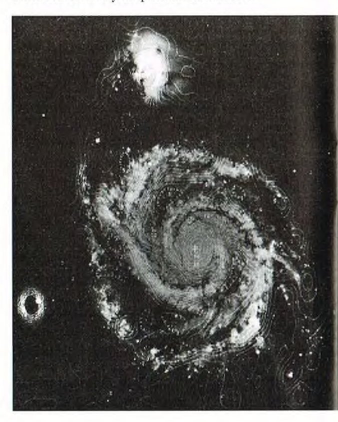
Hay otro proceso aún que tiene lugar en un tipo particular de radiofuentes descubiertas en tiempos recientes: los máseres. El máser, del inglés Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation (amplificación de microondas por emisión estimulada de radiación), representa un mecanismo similar al del láser (donde la «l» significa *light*, esto es, luz).

Consideremos un átomo o una molécula. Alrededor de su núcleo (o de sus núcleos en el segundo caso) encontramos un cierto número de electrones que se mueven incesantemente. Estos electrones, normalmente, tienen una energía que es la más baja de todas las permitidas. Es algo similar al fenómeno por el cual, si se dispone de dos recipientes con agua a distintas alturas y conectados por un tubo, el líquido tiende a fluir hacia el recipiente a más baja altura. Los electrones de un átomo o de una molécula, sin embargo, pueden situarse a otros niveles, a energías más elevadas, lo cual puede suceder si el átomo sufre un choque o captura un fotón. No obstante, el electrón que se encuentra en un nivel excitado (nivel de energía mayor) regresa en un tiempo brevísimo (una milmillonésima de segundo) al nivel fundamental. Esta caída puede producirse de distintas maneras, sobre todo si entre el nivel excitado y el fundamental existen otros muchos; el electrón puede trasladarse al nivel de energía mínima en un solo paso o a través de varios pasos intermedios. En ciertos casos, algunos de los niveles a los cuales puede moverse el electrón son metastables. Esto significa que el electrón puede permanecer en ellos durante tiempos relativamente largos, en general de una milésima de segundo (un millón de veces más largos de lo normal). La caída de un electrón de un nivel excitado al fundamental puede ser espontánea o inducida por el paso de un fotón de energía igual a la correspondiente al salto entre ambos niveles; en el segundo caso se habla de emisión inducida o estimulada.

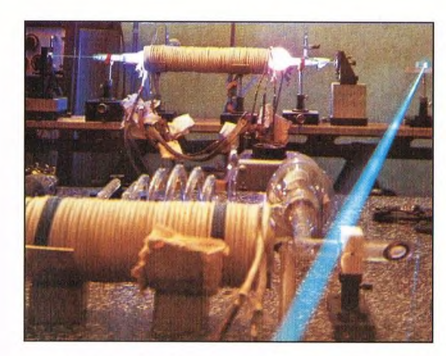
Normalmente, el proceso dominante es la emisión espontánea, pero en ciertos casos la situación puede decantarse a favor de la emisión inducida.

En las longitudes de onda de la luz visible, tal cosa sucede cuando se invierte la población de los electrones en los niveles energéticos; se opera de tal modo que haya más electrones en los estados excitados que en el nivel fundamental. En tal caso, los niveles metastables adquieren importancia porque están poblados durante tiempos más largos que los niveles normalmente inestables. En el caso de las radioondas, la emisión inducida puede prevalecer incluso a temperaturas bajas y densidades suficientemente altas.

Lo que sucede en un máser es que los electrones de un átomo o de una molécula –típicamente la formada por un átomo de oxígeno y otro de hidrógeno, más conocida como grupo oxhidrilo OH– abandonan un nivel excitado emitiendo fotones de radio, los cuales, a su vez, producen la caída de otros electrones y amplifican la radiación



Algunas galaxias poseen extensos lóbulos invisibles para los telescopios ópticos pero que emiten grandes cantidades de radioondas, detectables mediante radiotelescopios. Las galaxias en las que la emisión de radioondas es muy intensa se llaman radiogalaxias.



El láser (a la izquierda) es una fuente coherente de luz: produce rayos que no se dispersan (a diferencia de los de una lámpara) y posee notables propiedades. El equivalente del láser para las radioondas es el máser. Recientemente se han descubierto fuentes máser en nuestra Galaxia.



El púlsar de la nebulosa del Cangrejo fue el primero que se descubrió; el origen de su radioemisión pulsante constituyó un largo rompecabezas para los astrónomos.

generada. Todo esto sucede mientras otros mecanismos vuelven a llevar los electrones desexcitados al estado de mayor energía, alimentando continuamente el proceso.

En los máseres y los láseres la emisión de radiación se produce de un modo coherente: los fotones emitidos se mueven ordenadamente y tienen todos iguales características. Esto es así porque el fotón que produce la emisión es igual al emitido bajo su acción y porque la emisión tiene lugar en el momento en que pasa el fotón. En los demás mecanismos de emisión de radioondas o de luz, en cambio, la emisión por parte de los distintos átomos no está correlacionada y se producen fotones con distintas energías en momentos distintos.

Como los púlsares, las fuentes máser están fuertemente localizadas y son intensas. No ocupan gran espacio a escala astronómica, ya que sus dimensiones son comparables a las del sistema solar, y la cantidad de radiación que emiten es muy superior a la que emitiría por radiación térmica a la misma longitud de onda un cuerpo a la misma temperatura.

LA EMISIÓN DE RADIOONDAS A LA LONGITUD DE ONDA DE 21 CENTÍMETROS

Una importante emisión radioeléctrica es la caracterizada por la longitud de onda de 21 cm (correspondiente a 1,4 GHz). La produce el hidrógeno neutro, esto es, no ionizado, a través del mecanismo de emisión radiativa espontánea.

Lo que sucede es que los electrones y los núcleos poseen, además de carga eléctrica, espín (del inglés *to spin* = girar como una peonza).

Normalmente, la posición favorecida en un átomo de hidrógeno es aquella en que el protón del núcleo y el electrón «giran» sobre sí mismos en sentido opuesto, de modo que crean campos magnéticos opuestos. Pero el electrón puede invertir su sentido de rotación, por ejemplo absorbiendo un fotón que le suministre justamente la cantidad de energía necesaria para que se realice dicha inversión, o bien chocando con otro átomo. En tal caso, el electrón tiende a volver al estado de rotación inicial emitiendo un fotón de 21 cm de longitud de onda.

Si localizamos con un radiotelescopio la procedencia de la radiación de 21 cm, podremos construir un mapa celeste en el que descubriremos dónde se encuentra el hidrógeno neutro. Este tipo de mapas, que ya han sido realizados, han permitido obtener una «fotografía» de la Vía Láctea que ha confirmado de una vez por todas la forma espiral de nuestra Galaxia.

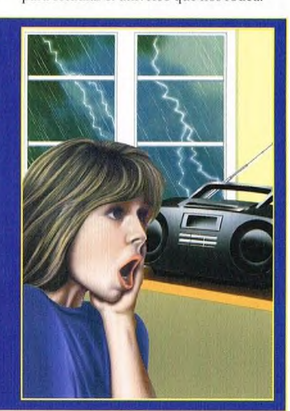
El mecanismo de emisión espontánea a 21 cm no es el único; los niveles energéticos de los átomos se van aproximando a medida que nos alejamos del nivel fundamental. Si el gas se halla a una temperatura lo bastante alta, buena parte de los electrones estarán en los niveles excitados más altos. Entre las transiciones a los niveles más bajos figurarán las transiciones a niveles de energía ligeramente inferior. Los fotones emitidos, por tanto, serán poco energéticos y corresponderán a la región de las radioondas. Una tal emisión, de tipo radiativo, contribuye a la emisión térmica de los cuerpos más calientes, como las estrellas, y representa uno de los mecanismos de emisión de radioondas por parte del Sol incluso en ausencia de fuertes campos magnéticos.

En la naturaleza, por tanto, la producción de radioondas es muy importante. Lo que parecía prerrogativa del hombre ha resultado ser un mecanismo muy extendido del que se ha sacado partido para estudiar el universo que nos rodea.

EXPERIMENTO

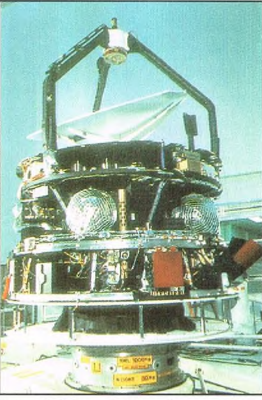
LAS ONDAS RADIOELÉCTRICAS

Encendamos un receptor de radio durante un temporal y sintonicémoslo con una banda donde no emitan estaciones. En correspondencia con cada rayo percibiremos el rumor producido por la emisión radioeléctrica que acompaña la descarga eléctrica. Ésta es debida al movimiento de las cargas eléctricas aceleradas por el campo magnético terrestre y por los choques que sufren con los átomos y las moléculas de la atmósfera durante la descarga. Dichas descargas, aunque de intensidad muy inferior, pueden percibirse también cuando se enciende o se apaga un interruptor de luz.



GIOTTO: MISIÓN HALLEY

Una de las más fantásticas misiones que el hombre haya podido imaginar fue llevada a cabo con éxito entre 1985 y 1986, cuando una sonda consiguió aproximarse al núcleo del cometa más conocido: el Halley. El óptimo estado de la sonda permitió el encuentro con otro cometa, el Grigg-Skjellerup, tras seis años de hibernación.



Fotografía de la sonda Giotto mientras era montada por la British Aerospace, responsable industrial del proyecto.



El 2 de julio de 1985, un Ariane-1 dejó la base de lanzamiento de la Agencia Espacial Europea, en Kourou (Guayana Francesa), llevando al espacio la sonda Giotto, de 960 kg de peso. El objetivo de la Giotto era extremadamente difícil e importante: acercarse al cometa Halley y fotografiarlo desde la menor distancia posible. El 3 de julio, el motor de combustible sólido de la sonda se encendió para poner la Giotto en una órbita heliocéntrica, que debía llevarla hacia el espacio profundo y por lo tanto hacia el cometa Halley. Ocho meses más tarde, la noche del 13 de marzo de 1986, la Giotto tuvo el fantástico encuentro con el más conocido de los cometas. Se acercó al núcleo con una velocidad relativa de 245.000 km/h y pasó a sólo 600 km de distancia de él. Los investigadores no creían que la sonda sobreviviese al paso a través del polvo cometario que rodeaba el núcleo, el cual golpeaba la superficie de la sonda con una fuerza cinco veces mayor que la de un pelotazo. Dos segundos antes de iniciarse la aproximación al cometa, la alineación entre la sonda y la Tierra sufrió una modificación de un grado a causa del impacto de las primeras partículas. Durante 32 minutos, el período correspondiente a la máxima aproximación al cometa, la señal llegó a tierra perturbada. Afortunadamente, transcurrido este lapso de tiempo los contactos volvieron a la normalidad y la sonda quedó en buen estado. Según los planes originales, la misión habría debido terminar 15 minutos después de la aproximación al cometa, pero pronto quedó claro que se podía prolongar al menos un día más. Así pues, la Giotto volvió a acercarse al cometa Halley en la noche del 14 al 15 de marzo. Al término de la misión se descubrió que el magnetómetro, el analizador de partículas, el analizador de impactos y el analizador de plasma se hallaban todavía en buen estado y podían operar aproximadamente al 60% de su capacidad. En cambio, la Multicolor Camera había quedado dañada. En realidad, el sensor CCD y su electrónica seguían funcionando, pero el espejo había sido ligeramente arañado por el polvo y la mecánica se encontraba en un estado discreto. A pesar de todo, no se recibían imágenes; algo obstruía el camino óptico de la telecámara, tal vez un fragmento del escudo protector externo que parecía haberse desprendido en el momento del encuentro con el cometa. Con estos resultados preliminares y el total éxito de la misión, las operaciones científicas de la sonda se dieron por concluidas el 15 de marzo de 1986.

Esquema del recorrido efectuado por la sonda Giotto en su cita con los cometas Halley y Grigg-Skjellerup.

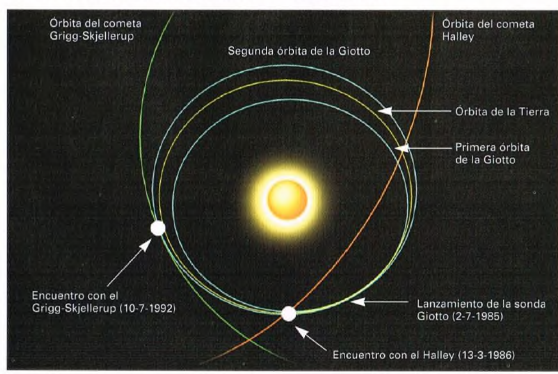


Imagen de la sonda espacial europea Giotto durante una simulación de vuelo antes del lanzamiento hacia el cometa Halley.

LA HIBERNACIÓN

Una vez «silenciados» los aparatos científicos de la sonda, las comunicaciones con la Giotto se redujeron a un mínimo que permitiera controlar el estado de la sonda y mantener la órbita dentro de ciertos parámetros. Al haberse gastado sólo el 10% de los 68 kg iniciales de hidracina, fue posible trasladar la sonda a órbitas muy anchas que le permitieron pasar cerca de la Tierra cinco años después del lanzamiento, el 2 de julio de 1990. Durante la hibernación, se mantuvo en una configuración que requería un mínimo de energía, con una autonomía limitada a la detección de eventuales anomalías.

UNA NUEVA MISIÓN

Mientras la Giotto corría hacia el cometa Halley, los científicos habían estudiado la posibilidad de una prolongación de la misión que enviara la sonda hacia el cometa Grigg-Skjellerup. En junio de 1988, el director de los programas científicos de la ESA, vistas las buenas condiciones de la sonda, decidió poner en marcha los procedimientos para la realización del segundo encuentro. Aprobada la misión, ésta entró muy pronto en fase operativa. La reactivación de la sonda fue muy difícil, pues la antena principal no estaba dirigida exactamente hacia la Tierra y por tanto el contacto con la Giotto sólo podía llevarse a cabo mediante la antena de baja ganancia. Por este motivo fue necesario utilizar las potentes antenas transmisoras del Deep Space Network de la NASA. Se elaboró un cuidadoso plan y el despertar tuvo lugar al fin el 19 de febrero de 1990 a las 12.45. El envío de las 150 órdenes tardó cerca de 2 horas en efectuarse, mientras la Giotto se encontraba a 102 millones de kilómetros de la Tierra. En los días siguientes otras instrucciones permitieron orientar la antena principal de la sonda hacia la Tierra. A partir de aquel momento, fue fácil dialogar con ella. El 25 de febrero, 150 horas después del comienzo de la operación, la ESA hizo público que la sonda había

La sonda Giotto, representada abajo en un montaje con el cometa al fondo, estaba equipada con potentes escudos para prevenir los daños debidos a colisiones con el polvo cometario.



despertado de la hibernación y podía empezar a operar. De los datos que la Giotto envió a la Tierra se deducía que la sonda había sobrevivido muy bien al encuentro con el cometa Halley y a la larga hibernación. Ocho de los once experimentos de a bordo eran todavía utilizables, por lo que la ampliación de la misión podía ser un éxito. Se esperaba que tres instrumentos en concreto se encontraran en condiciones, como así fue. Se trataba del analizador de plasma, del analizador de partículas y del magnetómetro. Éste podía realizar medidas más sensibles todavía que con el cometa Halley, pues al no funcionar el motor de la cámara fotográfica, que creaba un débil campo magnético, se podían controlar valores muy bajos del campo magnético del Grigg-Skjellerup.

LA ELECCIÓN DEL COMETA GRIGG-SKJELLERUP

Inicialmente eran al menos cinco los cometas considerados interesantes para un encuentro con una sonda: el Grigg-Skjellerup, el Hartley 2, el Du Toit-Harley, el Tuttle-Giacobini-Kresak y el Honda-Mrkos-Pajadusakowa. La elección recayó en el Grigg-Skjellerup por varias razones.

En primer lugar, se trataba de un cometa de órbita bien conocida, un hecho esencial para el éxito de un encuentro espacial. Se sabía que el cometa pertenece a la familia de Júpiter: su afelio es de 4,94 unidades astronómicas (u.a.) y su perihelio de 0,99 u.a. Su período orbital es de 5,09 años. Era, pues, un cometa muy distinto del Halley, y éste era el segundo motivo que convertía el Grigg-Skjellerup en un candidato ideal. Su breve período orbital lo convierte en un cometa bastante «envejecido», ya que ha sido «desgastado» por los continuos pasos cerca del Sol.

Las diferencias con el Halley no acaban aquí: el Grigg-Skjellerup posee un núcleo de sólo 2 km, una décima parte del núcleo del Halley.

EL ENCUENTRO

Partiendo de las condiciones de la sonda, los científicos propusieron realizar los siguientes experimentos cerca del Grigg-Skjellerup:

- detectar los cambios del viento solar en las proximidades del cometa;
- determinar la densidad de electrones;
- determinar la densidad de polvo y el tamaño de los granos;
- determinar la emisión de gases.

Pese a la menor energía disponible a bordo de la sonda, un 20% menos, y pese a la mayor distancia a la Tierra (1,01 u.a., frente a las 0,9 u.a. del Halley), los experimentos de a bordo se pusieron en marcha el día 1 de julio de 1992 con el encendido del magnetómetro, seguido del analizador de partículas y de los demás experimentos.

Después de una corrección en vuelo el 8 de julio, en días sucesivos comenzaron las operaciones de acercamiento al cometa, que llevaron con éxito la sonda a la mínima distancia a las 17.20 del 10 de julio de 1992.

El encuentro con el cometa, a pocos centenares de kilómetros, se produjo a una velocidad de unos 50.000 km/h. También en este caso se recogieron importantes datos, que convirtieron la segunda misión en un auténtico éxito.



Representación pictórica del histórico encuentro entre la sonda Giotto y el cometa Halley en 1986.

Pese a la corta distancia de paso, la sonda Giotto, una vez más, salió abollada pero no destruida. Por ello, se la puso por segunda vez en estado de hibernación. Aunque algunos instrumentos están todavía en condiciones de funcionar, no es posible pensar en ninguna misión futura debido al escaso combustible que queda a bordo. Es posible, pues, que la sonda que ha visitado dos cometas en misiones fascinantes y de gran importancia científica permanezca durante siglos en estado de letargo.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

ECLIPSES

ESTRELLAS Y GALAXIAS

MOLÉCULAS EN EL ESPACIO

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

UNICORNIO

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

APOLLO-SOYUZ

EL USO DEL ESPACIO

LA ESTACIÓN ALPHA

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

47



PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

ECLIPSES

Fenómeno siempre inquietante para la humanidad, los eclipses no son en realidad más que un juego al escondite entre los astros.



Durante mucho tiempo, el cielo ha sido considerado como algo inmutable, y los fenómenos que ocurren en él, repetidos con gran regularidad, han permitido establecer algunas de las principales unidades de tiempo: el día, el mes y el año.

Por eso, toda desviación del comportamiento «normal» de los astros produce cierto temor, como si este orden tan perfecto pudiera entrar en crisis. Esta sensación es todavía más fuerte si en el firmamento aparece algo nuevo, o si astros conocidos desaparecen del campo de visión.

Todos sabemos –también las poblaciones antiguas lo sabían– que la vida depende estrechamente de la luz y del calor que nos envía cada día el Sol. La desaparición súbita del astro del día es lo más terrible que puede imaginar la humanidad. Por tanto, no debe sorprender que antiguamente –y aun en tiempos recientes entre poblaciones con escaso conocimiento de los fenómenos astronómicos– los eclipses de Sol representasen un acontecimiento terrible, casi un presagio del fin del mundo.

Sólo con el estudio sistemático de los fenómenos astronómicos pudo descubrirse la verdadera naturaleza de los eclipses: la desaparición del astro se debe sencillamente a la interposición de otro objeto a lo largo de la línea visual, o a la intercepción de la luz solar por parte de la Tierra, como en el caso de los eclipses de Luna.

Las condiciones que permiten observar un eclipse –de Sol o de Luna, no importa– se dan cuando el Sol, la Tierra y la Luna están perfectamente alineados. Esta condición es necesaria para que uno de los cuerpos opacos, la Tierra o la Luna, intercepte los rayos del Sol. Cuando la Luna se interpone entre nuestro planeta y el Sol, desde la Tierra se observará un eclipse solar, mientras que el eclipse lunar se producirá cuando la Tierra se encuentra entre el Sol y la Luna.

Los eclipses parciales (imagen a toda página) y, especialmente los totales, quizá constituyan el espectáculo más impresionante que se puede presenciar en el firmamento.
La desaparición temporal del disco solar crea una breve noche que inquieta el ánimo de los observadores.

DIVERSOS TIPOS DE ECLIPSES SOLARES

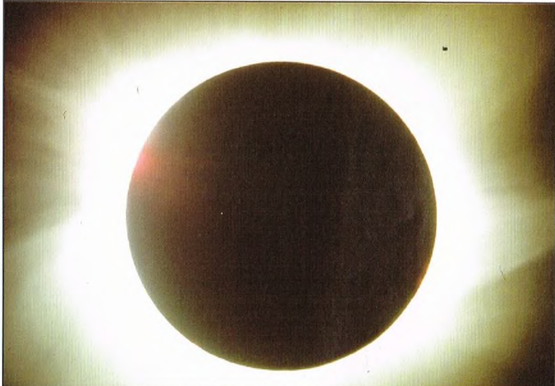
Consideremos el caso de un eclipse solar.

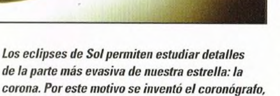
Al igual que todos los cuerpos opacos, la Luna bloquea parte de los rayos solares: los que llegan a su superficie. Se dice que nuestro satélite proyecta un cono de sombra porque ésta es precisamente la forma de su sombra. La base de este cono está en la superficie de la Luna, y el vértice, en la parte opuesta al Sol. Si pudiésemos colocar un folio gigantesco en el espacio detrás de la Luna, veríamos aparecer en él un círculo oscuro: la sombra de la Luna. En los puntos sombreados, el Sol resulta completamente invisible.

Pero la sombra de la Luna no se recortaría nítidamente sobre nuestro imaginario folio, sino que estaría rodeada por una zona circular de penumbra,

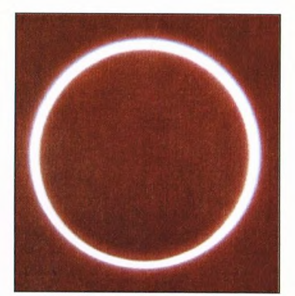


Arriba, imagen compuesta de un eclipse de Sol, tomada en rayos X. La fotografía se hizo el 24 de octubre de 1995 con un tiempo de exposición de un cuarto de segundo.





Los eclipses de Sol permiten estudiar detalles de la parte más evasiva de nuestra estrella: la corona. Por este motivo se inventó el coronógrafo, un dispositivo capaz de crear un eclipse artificial.



Los eclipses anulares se producen cuando la Luna está lo bastante lejos para no poder cubrir totalmente el disco del Sol con el suyo. En tales casos, las regiones más externas de la fotosfera permanecen visibles y el Sol se muestra como un anillo en ignición.

generada por las zonas del Sol que son parcialmente visibles desde detrás de la Luna.

Si sustituyésemos el folio por la Tierra, en la región de sombra estarían los puntos desde los que sería visible un eclipse total de Sol, mientras que desde los puntos de la penumbra podría observarse un eclipse parcial.

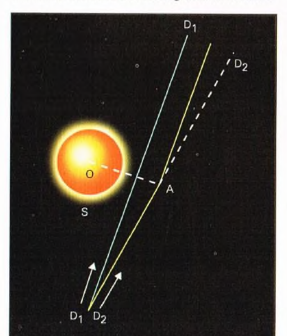
Como la Luna orbita alrededor de la Tierra, la zona de sombra se desplaza continuamente, lo que explica que los eclipses solares tengan una duración de pocos minutos. La velocidad orbital de la Luna, combinada con el movimiento de rotación diurna de la Tierra, hace que el disco lunar se desplace en el firmamento según un ángulo de 0,5° (próximo a su diámetro) en más o menos una hora.

Imaginemos ahora que colocamos el folio en el lugar de la Tierra y que lo desplazamos hacia atrás hasta que el vértice del cono de sombra no caiga en el folio. En tal caso, ya no podremos ver la sombra lunar sobre el folio, sino que continuaremos viendo la penumbra, porque existirán zonas de Sol visibles, mientras que otras permanecerán ocultas por la Luna. Si hemos movido bien el folio, será la parte central del Sol la que permanecerá oculta. Volviendo la Tierra a su lugar, hallaremos los puntos desde los que será visible un eclipse anular de Sol, es decir, un eclipse en el que la parte central del disco solar resulta invisible, mientras que nuestro satélite no oculta la parte periférica, que aparece en forma de anillo (de ahí deriva su nombre) incandescente.

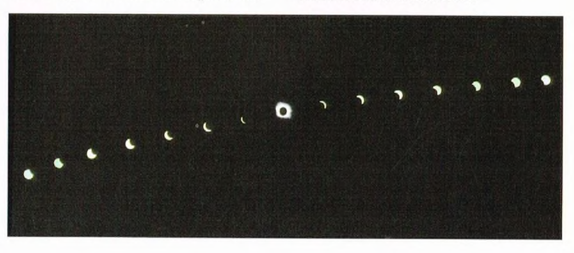
Dado que los eclipses solares ocurren cuando la Luna y el Sol se hallan en la misma parte, cabe esperar un eclipse de Sol en cada Luna nueva. Entonces, ¿por qué los eclipses son un fenómeno más raro? ¿Por qué a veces observamos eclipses totales y otras, en cambio, parciales o anulares?

La respuesta a la primera pregunta es que la órbita lunar no está en el mismo plano que la órbita que la Tierra describe alrededor del Sol, sino que está ligeramente inclinada, unos 5° respecto a esta última. Cuando la Luna y el Sol se hallan en la misma parte respecto a la Tierra, nuestro satélite puede

En su teoría de la relatividad general, Einstein predijo que la luz se desvía en un campo gravitatorio. La primera verificación de este fenómeno se obtuvo en 1919 durante un eclipse solar total. Pudo verse que las estrellas próximas al Sol aparecían desviadas por efecto de la curvatura de sus rayos luminosos, consecuencia de la atracción gravitatoria solar.



Fotografías múltiples permiten reproducir las diversas fases de un eclipse solar, desde el primer contacto entre los dos discos, lunar y solar, hasta el momento en que la Luna abandona definitivamente el Sol.





Los eclipses lunares son menos espectaculares que los solares, pero tienen la ventaja de no ser fenómenos locales, sino que pueden ser observados desde buena parte de la Tierra. La duración de un eclipse de Luna es muy superior a la de un eclipse de Sol.

estar un poco «más arriba» o «más abajo» respecto a la posición del Sol, y quizá su cono de sombra no intercepta la Tierra. Si es así, desde nuestro planeta no se pueden ver eclipses, pero sí desde el espacio.

La respuesta a la segunda pregunta es más compleja. Si casualmente el Sol y la Luna tienen el mismo tamaño aparente, más o menos medio grado, y se desea tener una vaga idea de lo poco que es medio grado, obsérvese el Sol a través de una película «ennegrecida» para no dañar los ojos y superpóngase a ella una moneda pequeña, sosteniéndola en la mano con el brazo extendido: se verá entonces que la moneda basta para cubrir sobradamente el disco solar. El mismo experimento puede repetirse con la Luna. Esto significa que la Luna puede cubrir casi exactamente el disco solar y que, por tanto, la zona de sombra que proyecta sobre la Tierra es de dimensiones reducidas. Así se explica que sólo pocas zonas puedan ver un eclipse total cuando éste ocurre, mientras que en la franja adyacente de penumbra se observará un eclipse parcial.

El motivo por el que a veces el eclipse se presenta anular es que la forma de la órbita terrestre y de la lunar no son circulares, sino elípticas, y la distancia entre Sol y Tierra y entre Tierra y Luna varía, aunque poco, y con ella los diámetros aparentes de los dos objetos celestes vistos desde la Tierra.

Si el eclipse ocurre cuando la Tierra se halla en un punto relativamente próximo al Sol y la Luna está algo alejada de la Tierra, el disco lunar no será lo bastante grande para ocultar totalmente el solar: tendremos entonces un eclipse anular. Por el contrario, si la Tierra está lo bastante alejada del Sol y la Luna lo bastante cercana a ella, nuestro satélite eclipsará el Sol de manera completa, por lo que el eclipse podrá producirse de manera total.

ECLIPSES DE LUNA

Por lo que hemos visto, el eclipse solar es un espectáculo reservado a los pocos afortunados que se encuentran en la franja atravesada por la sombra de la Luna. Para el resto, será visible sólo parcialmente o no lo será en absoluto.

El razonamiento es completamente distinto para los eclipses de Luna, que ocurren cuando la Tierra se encuentra entre la Luna y el Sol.

Como la Tierra es muy grande en comparación con la Luna, el cono de sombra que proyecta es de tamaño mayor y puede contener ampliamente toda la Luna.

Si la Luna cae dentro del cono de sombra terrestre, desaparecerá de nuestra vista y, por tanto, habrá eclipse.

También aquí, el motivo por el que no tenemos un eclipse lunar en cada plenilunio, es decir, cuando Luna y Sol se encuentran en direcciones opuestas respecto a la Tierra, es la inclinación de la órbita lunar respecto a la terrestre.

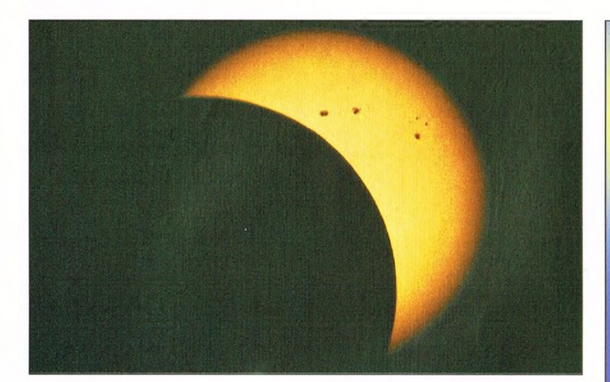
De acuerdo con esta característica de la órbita de la Luna, se comprende también por qué el eclipse de Luna puede ser parcial: o bien la Luna entra sólo en parte en la sombra terrestre, o bien entra en la penumbra, con el disco lunar invadiendo sólo la zona de penumbra proyectada por la Tierra, sin tocar la sombra propiamente dicha.

Abajo, el color rojo de la Luna durante un eclipse total. También los eclipses lunares pueden ser parciales cuando el satélite entra sólo en parte en el cono de sombra terrestre.



Fotomontaje de las diversas fases del eclipse total de Luna del 3-4 de abril de 1996. De derecha a izquierda, el disco lunar va haciéndose gradualmente más oscuro a causa de la sombra de la Tierra.





El eclipse de Luna, cuando se produce, es visible desde todas las zonas de nuestro planeta en que puede verse el satélite: de todas partes se verá a éste entrar y salir de la sombra de la Tierra, como en una proyección cinematográfica, ya que, en efecto, se trata de una proyección: el Sol es el proyector, la Tierra es la película y la Luna, la pantalla.

Los eclipses parciales de Sol ocurren cuando una parte de la Luna se encuentra delante del astro. Un eclipse total va siempre acompañado de un eclipse parcial: la Luna tarda cierto tiempo en ocultar completamente el Sol y también necesita tiempo para liberar a éste por completo de su disco. Durante el proceso, antes y después de la totalidad, el eclipse es parcial. Además, en torno a la fase de totalidad existe una zona en la que el eclipse es visible sólo parcialmente. Se llama zona de penumbra porque se halla en la penumbra proyectada por nuestro satélite.

JUEGOS DE REFRACCIÓN

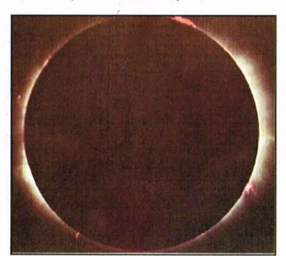
Sin embargo, en un eclipse de Luna, nuestro satélite no desaparece del todo, sino que permanece visible, aunque con una luminosidad extremadamente atenuada. Este fenómeno parece desconcertante: ¿cómo es posible que la Tierra deje filtrar rayos solares?

Naturalmente, esto no ocurre porque la Tierra sea transparente o traslúcida. Al igual que la Luna, la Tierra bloquea todos los rayos solares que inciden en ella, pero respecto a nuestro satélite hay una gran diferencia: en la Tierra existe una atmósfera.

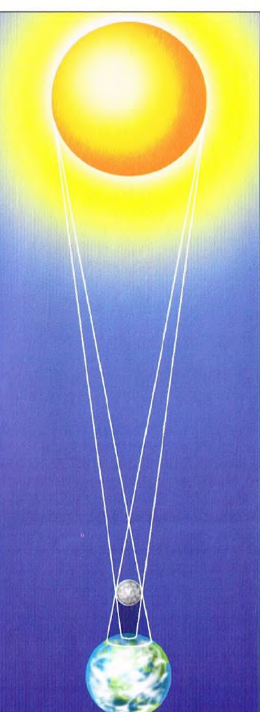
Si introducimos un cuchillo en un vaso con agua u observamos el remo de una barca sumergido parcialmente en el agua, veremos que estos objetos parecen quebrarse en la línea correspondiente a la superficie del líquido. Esto se debe a que el agua refracta la luz, es decir, modifica su recorrido. También la atmósfera tiene la capacidad de refractar la luz, y el efecto más evidente de esta acción sobre los rayos luminosos es probablemente la distorsión del disco solar al alba o en el crepúsculo: si observamos el Sol cuando está bajo en el horizonte veremos que aparece achatado. Este fenómeno se debe a que los rayos solares han de pasar a través de espesas capas atmosféricas antes de llegar a nosotros y, al atravesarlas, se desvían. El fenómeno es tan evidente que incluso cuando vemos el Sol en contacto con el horizonte, ya se ha puesto o todavía no ha salido.

Así pues, la Tierra no se limita a bloquear parte de los rayos solares, sino que su

Durante un eclipse total de Sol pueden observarse las protuberancias, unos chorros de gas incandescente que se elevan a miles de kilómetros por encima de la superficie solar.

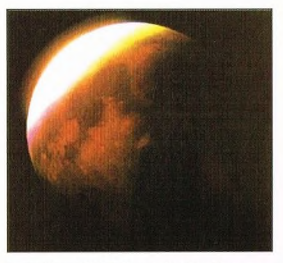




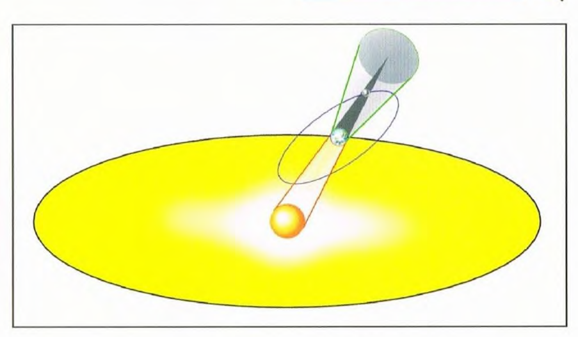


Arriba, mecanismo de un eclipse de Sol. Cuando la Luna se interpone entre nuestro planeta y el astro del día, proyecta su sombra sobre la superficie de la Tierra. Por tanto, en estas regiones el Sol es invisible y podrá observarse un eclipse solar.

Inmediatamente después de acabar la fase de totalidad, el Sol empieza a aparecer de nuevo tras el disco oscuro de la Luna.



Los eclipses (el de la fotografía de arriba es de Luna) ya fueron estudiados por civilizaciones antiguas, por ejemplo árabes y chinos, según noticias que nos han llegado incluso a través de fuentes escritas.



Ocurre un eclipse de Luna cuando ésta pasa por «detrás» de la Tierra y, por tanto, impide que los rayos de luz procedentes del Sol lleguen a su superficie.

atmósfera desvía otros, haciendo posible la iluminación parcial de zonas situadas en la sombra. Como las longitudes de onda correspondientes al color rojo sufren menor desviación, pueden proseguir su camino en las proximidades de la sombra terrestre y llegan a alumbrar la Luna, lo que hace que durante los eclipses totales se nos aparezca rojiza.

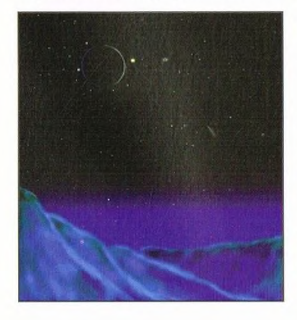
EL SAROS

Los eclipses son fenómenos tan particulares que ya las poblaciones antiguas investigaron sus eventuales ciclos.

Para los eclipses de Luna no es difícil hallar una ley que permita predecir cuándo van a producirse, al menos aproximadamente. Esta ley fue hallada después de atentas observaciones, y resultó que entre dos eclipses de Luna median cinco o seis meses.

Al período de 223 meses lunares (la duración del mes lunar equivale a 29 días y medio) se le dio el nombre de saros, uno de los períodos sobre los que puede calcularse con mayor precisión la repetición de los eclipses.

En cambio, para los eclipses de Sol, el cálculo es más complicado, ya que un eclipse solar es un fenómeno local, no visible desde toda la Tierra, y depende estrechamente de la posición exacta de la Luna en la bóveda celeste. Sin embargo, ya en la Antigüedad se previeron eclipses de Sol: un ejemplo lo dio Tales, que predijo el eclipse total que tuvo lugar el año 585 a.C.



OTROS ECLIPSES

El fenómeno de los eclipses, tal como se presenta, no es exclusivo del sistema formado por la Tierra, la Luna y el Sol, sino que se produce en una gran cantidad de cuerpos celestes. Un ejemplo conocido es el de los satélites galileanos, cuyo estudio permitió llegar a una primera estimación de la velocidad de la luz. Naturalmente, lo mismo que sucede en la Tierra cuando la Luna se interpone entre ella y el Sol, también podrían observarse eclipses de Sol desde Júpiter cuando uno de los satélites pasa por delante del planeta gigante. Pero el fenómeno más singular ocurre cuando, en determinadas condiciones, son los satélites los que se eclipsan recíprocamente. Por ejemplo, hay eclipses de Ío provocados por Ganimedes, mientras que en aquel mismo momento hay un eclipse de Sol en Ío.

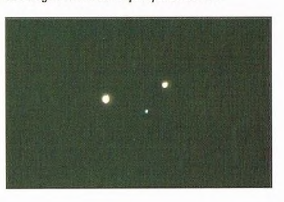
Otro caso interesante es el de dos estrellas que orbitan una alrededor de otra y el plano orbital está en la línea visual de la Tierra. En tal caso, las estrellas pasarán periódicamente una delante de otra, enmascarando la luz de la compañera que permanece detrás y provocando eclipses de estrellas.

A la izquierda, reconstrucción artística de cómo se vería un eclipse de Sol desde Ganimedes, un satélite de Júpiter, con la luz de la estrella interceptada por Europa, otra de las lunas del gran planeta.

Por consiguiente, los eclipses son una notable fuente de información sobre los sistemas en los que se producen. Esto es así incluso en nuestro medio: durante un eclipse solar es posible estudiar más cómodamente partes del Sol que de otro modo son de difícil observación. También se ha querido comprender el estado de la atmósfera terrestre por el color que adquiere la Luna durante algunos eclipses.

Un aspecto singular de este fenómeno, ligado a su predictibilidad relativamente sencilla, es la investigación histórica: si un hecho tiene una datación incierta y ocurrió en el momento exacto o aproximado de un eclipse, es posible deducir con más rigor su fecha precisa.

Existen muchas estrellas que tienen compañeras tan próximas que no pueden distinguirse más que con telescopios potentes (en la fotografía de abajo aparece Alcor con Mizar). Sin embargo, si la órbita de estos objetos se halla de canto respecto a la línea visual, es posible observar eclipses recíprocos de los dos astros. Lo que se registra es una disminución periódica de la luminosidad, debida al hecho de que cuando una estrella pasa delante de otra impide que nos llegue la luz de la que queda detrás.



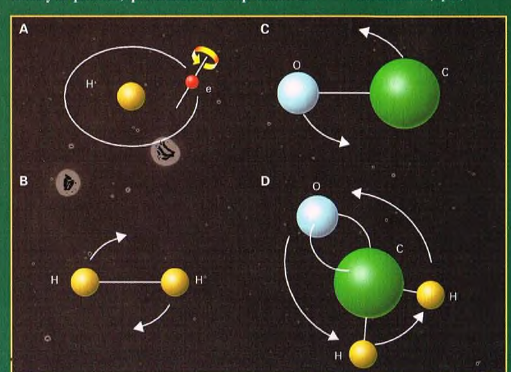
MOLÉCULAS EN EL ESPACIO

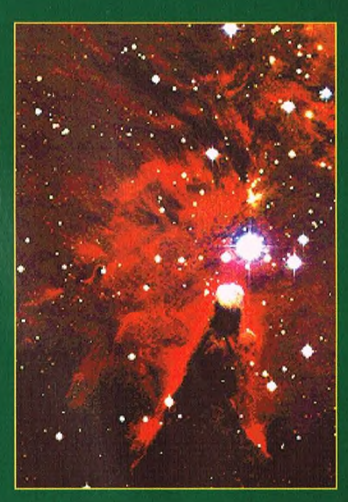
Para explicar lo que ocurre en el firmamento, la química es un auxiliar precioso. En el espacio se han identificado numerosas moléculas, incluso bastante complejas, formadas por gran número de átomos. Muchas son «orgánicas», aunque infinitamente más simples que las que constituyen las bases de la vida.

Las moléculas son conjuntos de átomos que se unen para formar sustancias complejas, con características diferentes de las sustancias originarias. Un ejemplo sencillo de molécula es la del agua, constituida por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Estos dos elementos químicos, que se presentan generalmente en forma gaseosa, son muy distintos del producto de su combinación, el agua, que en condiciones normales de presión y temperatura se halla en estado líquido.

Los objetos que pueblan el firmamento están formados por los mismos elementos químicos que hay en la Tierra, y este descubrimiento fue una de las piedras angulares de la espectroscopia astronómica, rama de la ciencia a caballo entre la física y la química, que estudia la composición de

Las moléculas, al vibrar y girar alrededor de sus ejes, emiten radiación electromagnética a longitudes de ondas radio. En la ilustración de abajo se ven: a) la inversión de la dirección de rotación del electrón del átomo de hidrógeno (inversión del espín), que produce una importantísima línea a 21 cm; b) la rotación de la molécula del hidrógeno; c) la de la molécula CO, y d) la de la molécula de formaldehído (H_2CO).





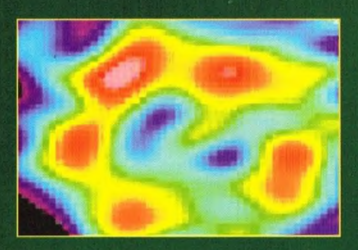
Arriba, una misteriosa nebulosa oscura en forma de cono, en las cercanías del cúmulo abierto NGC 2264. Esta región contiene una gran cantidad de polvo que bloquea la luz procedente del cúmulo situado detrás. Se supone que esta extraña forma cónica podría ser el producto de la emisión intensa de viento estelar por parte del objeto que se encuentra en la parte superior.

las sustancias (en este caso, de los objetos celestes). Saber que incluso las estrellas y las galaxias de los confines más remotos del cosmos están formadas por los mismos átomos que encontramos en nuestro planeta ha hecho comprender que la explicación de los objetos celestes y de los fenómenos que regulan su formación y evolución está al alcance de la ciencia terrestre.

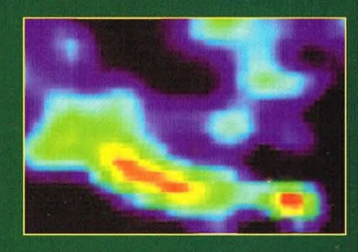
Hoy sabemos con certeza que los componentes fundamentales y más abundantes del universo son el hidrógeno y el helio, y que de estos dos simples elementos nacieron las estrellas. Éstos eran, originariamente, los dos únicos tipos de átomos presentes en el cosmos. Por tanto, la «receta» primordial del universo es muy sencilla: aproximadamente el 80% de hidrógeno y el 20% de helio, con otros pocos elementos en porcentajes despreciables. El resto de elementos químicos se formaron a continuación, sintetizados en el interior de las estrellas mediante reacciones nucleares.

NO SÓLO ÁTOMOS

A finales de los años treinta, los astrónomos supusieron primero y descubrieron después que algunas moléculas ligeras (compuestas por pocos átomos), a causa de unos «movimientos» especiales en el espacio, podían emitir radiación electromagnética a longitudes de onda del orden

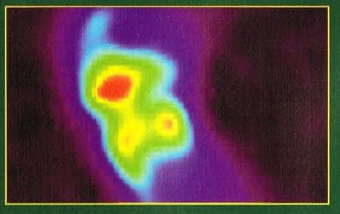


En las imágenes radio, como la de la izquierda, de la estrella en evolución IRC 10216, el uso de procesamientos electrónicos es muy importante. Estos análisis permiten poner de manifiesto detalles que de otro modo no serían visibles.

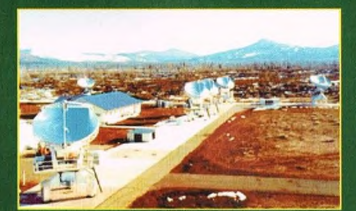


A la derecha, imagen radio de una nube interestelar: las longitudes de onda son del orden del milímetro. Imágenes así permiten a los astrónomos observar qué moléculas se forman en las grandes nubes de gas y de qué modo.

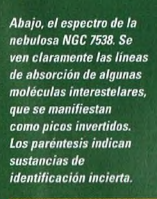
del milímetro y del centímetro. Las moléculas están sujetas a movimientos de tipo vibratorio y rotatorio, y cuando cambian su estado energético a causa de tales movimientos, absorben o emiten radiación a determinadas longitudes de onda, generalmente en el campo de las ondas radio. A estas grandes longitudes de onda, los telescopios son inútiles, pero pueden utilizarse radiotelescopios, capaces de captar la emisión electromagnética de las fuentes espaciales hasta longitudes de onda muy grandes. La emisión es distinta según las moléculas y depende de los átomos de que están formadas. Esto hace que puedan identificarse las sustancias químicas, incluso a las enormes distancias a que se hallan los cuerpos celestes.



Mediante imágenes radio, como la de arriba, y su comparación con las que se toman en otras longitudes de onda, los astrónomos consiguen abrir diversas ventanas al universo y obtener informaciones útiles.



Arriba, fotografía del BIMA (Berkeley-Illinois-Maryland Association) Consortium, un conjunto de radiotelescopios instalados cerca de Hat Creek (California), desde donde se toman imágenes radio de planetas, cometas, nubes de polvo, estrellas y galaxias.



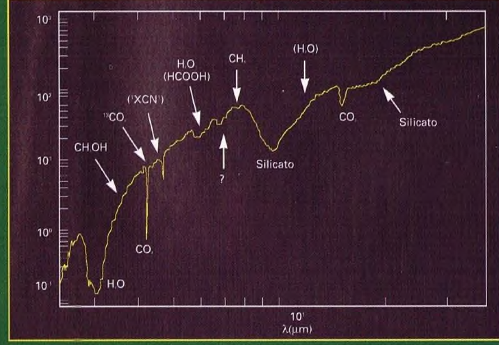
Abajo, el espectro de la nebulosa NGC 7538. Se ven claramente las líneas de absorción de algunas moléculas interestelares, que se manifiestan como picos invertidos. Los paréntesis indican sustancias de identificación incierta.

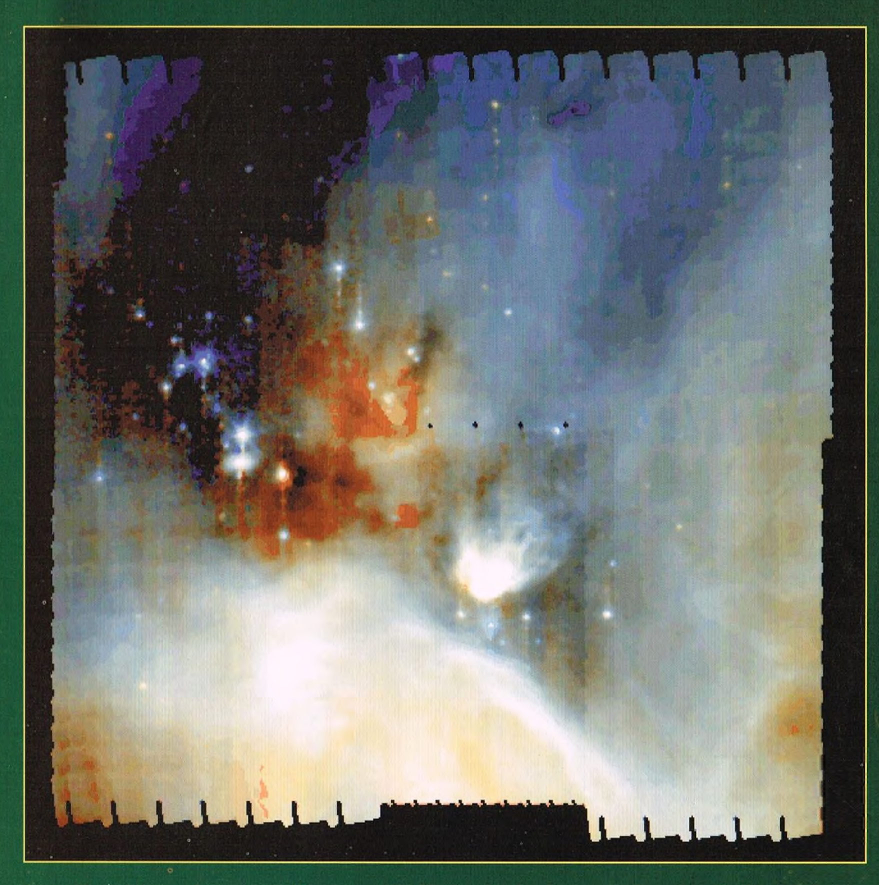
En 1937, en los espectros de algunas estrellas se identificaron bandas oscuras que, según se sabía, eran características de las moléculas CH (metiladina) y CN (cianógeno). Figuran entre los pocos casos de moléculas que emiten a longitudes de onda cortas, a caballo entre el ultravioleta y la luz visible. Estas moléculas, interpuestas en el espacio interestelar, entre nosotros y las estrellas observadas, absorbían la luz de las estrellas de una longitud de onda específica; de este modo, pudieron ser identificadas. Durante muchos años no se descubrió nada más, hasta que en 1963 unos astrónomos que trabajaban con un radiotelescopio de 26 m de diámetro, en el Massachusetts Institute of Technology, descubrieron el llamado grupo oxidrilo (OH), que emite ondas radio entre 17,5 y 18,5 cm de longitud de onda.

Hoy se conocen hasta 113 moléculas «espaciales» compuestas por un número de átomos que va desde un mínimo de dos, en el caso de las más sencillas, hasta un máximo de trece, las más complejas. La rama de la astrofísica que se ocupa de este campo, llamada astroquímica o astrofísica molecular, es una de las más fascinantes de esta ciencia.

VIDA DURA PARA LAS MOLÉCULAS...

Hasta 1968 se consideraba imposible que en los espacios siderales pudiera haber moléculas pluriatómicas, es decir, compuestas de tres o más





átomos. El espacio interestelar no es un medio favorable para su formación. De toda la materia que compone el medio interestelar, la que ocupa el espacio aparentemente vacío entre estrellas, casi el 99% es gas, mayoritariamente hidrógeno, con una densidad media de un átomo por centímetro cúbico; así, en un metro cúbico de espacio interestelar hay más o menos un millón de átomos de hidrógeno. Hagamos una comparación: en la Tierra, en condiciones normales de presión y temperatura, hay unos 3×10^{22} átomos. En el espacio, los otros compuestos todavía son más raros: por ejemplo, hay una sola molécula de oxidrilo en cada metro cúbico. El restante 1% de materia interestelar está constituido por granos de polvo (aproximadamente un grano por cada hectómetro cúbico); la mayor parte son silicatos, grafitos y hielo.

A causa de estas bajísimas densidades, es realmente muy improbable que los átomos se encuentren para formar moléculas. No obstante, las grandes dimensiones de las nubes de gas interestelar hacen posible que esto ocurra de vez en cuando, aunque en condiciones muy distintas de las que se dan normalmente en los medios químicos terrestres. Por el mismo motivo, tales nubes pueden absorber la luz de las estrellas que tienen detrás (respecto a la dirección en la que las observamos desde la Tierra). Una vez formadas, las moléculas

Excelente imagen en infrarrojo de la nube interestelar en la región de la estrella Rho Ophiuchi. Los puntos luminosos más pequeños son estrellas de masa similar a la del Sol, y el objeto más brillante abajo y en el centro de la fotografía es una estrella naciente muy masiva, oculta aún parcialmente por la capa de polvo y gas de la que se formó.

DENTRO DE LAS NUBES DE TITÁN

Titán es uno de los satélites de Saturno y, con su diámetro de 5.150 km, es el segundo del sistema solar después de Ganimedes, satélite de Júpiter. Sus grandes dimensiones le permiten mantener una atmósfera (aunque bastante tenue), que es un verdadero laboratorio químico extraterrestre. Su componente principal es el nitrógeno molecular (N_2), pero en su interior se han observado también numerosos hidrocarburos y compuestos orgánicos, entre ellos CH_4, C_2H_2, C_2H_4, C_2H_6, C_3H_8, C_4H_2, HCN, C_2N_2, HC_3N, CO y CO_2. A la temperatura que reina en la superficie de Titán (–180 °C, aproximadamente), sustancias como el agua están sin duda heladas. En cambio, podría haber lagos o hasta océanos de hidrocarburos, como el metano y el etano.



Las manchas negras que aparecen en la fotografía de la derecha son pequeñas nubes oscuras pertenecientes a la categoría de los llamados «glóbulos de Bok», por el nombre del astrónomo Bart Bok, que los estudió con detalle. Se trata de nubes de gas y polvo que se están condensando para formar nuevas estrellas. Las de la imagen se hallan en la región H II conocida como IC 2499.

pueden sobrevivir a pesar del bombardeo de radiación ultravioleta que les llega desde las estrellas más calientes (que tiende a «disociarlas», a destruirlas) sólo gracias a la protección que les brinda el polvo, que, por tanto, tiene un papel fundamental en la química del espacio. Por otra parte, las partículas de alta energía presentes en los rayos cósmicos consiguen a veces ionizarlas, es decir, liberarlas de los electrones y hacer que queden cargadas positivamente.

LOS ELEMENTOS MÁS ABUNDANTES

La molécula que más abunda en el espacio es la de hidrógeno, constituida por dos átomos de este elemento (H_2). No presenta rayas de absorción ni en ondas radio ni en el infrarrojo. Por consiguiente, su abundancia y su distribución han de evaluarse mediante la observación de otra molécula, que es la segunda más abundante: la del monóxido de carbono (CO), que, según se sabe, es diez mil veces menos abundante (un valor razonablemente constante en las diversas nubes) que la de hidrógeno, lo que hace que se utilice como «indicador» del hidrógeno. El CO muestra una raya espectral a la longitud de onda de 2,6 mm o a la de 2,72 mm, según que el isótopo de carbono de la molécula sea ^{12}C o ^{13}C.

Las otras moléculas están constituidas mayoritariamente por unos pocos elementos químicos: además de hidrógeno, carbono y oxígeno, hay nitrógeno (N), azufre (S) y silicio (Si). Estos elementos hacen que las moléculas más abundantes en el espacio sean de tipo «orgánico», es decir, formadas por los mismos componentes básicos que las que constituyen los seres vivos. Por ejemplo, puede pensarse en la molécula del H_2CO y del HCOOH como precursoras de los azúcares y de los lípidos: el HCN es el precursor de la adenina (uno de los ácidos nucleicos que constituyen el ADN) y, junto al HCCCN, el PN y el H_2O son precursores de los diversos ácidos nucleicos y, por tanto, también de las proteínas.

Pero esto no significa, como a menudo se tiende a creer, que el universo esté inundado de vida: es posible, y hasta extremadamente probable, que en el cosmos existan muchas especies de vida de tipos diversos y hasta muchas civilizaciones tecnológicas, aunque no tenemos ninguna prueba de ello, por pequeña que sea: sólo podemos suponerlo. Únicamente saber que en las zonas inhóspitas del espacio interestelar los átomos tienden a unirse entre sí de manera análoga a como lo hacen en la Tierra, puede alimentar aquella esperanza.

Otras moléculas relativamente abundantes en el universo, y visibles también en las otras galaxias, son el amoniaco (NH_3), el agua (H_2O), el ácido cianhídrico y su isómero, el ácido isocianhídrico



A la derecha, fotografía del cometa Hyakutake, que pasó cerca de la Tierra a comienzos de 1996. En los cometas, los astrónomos han detectado la presencia de muchas sustancias químicas, lo que hace pensar que con su actividad de «siembra» de moléculas orgánicas han tenido un papel decisivo en la aparición de la vida sobre la Tierra.



A la izquierda, fotografía de la nebulosa IC 1396. Se trata de una débil pero vasta región de hidrógeno ionizado situada en el interior de algunas nubes moleculares oscuras. La estrella brillante, arriba a la izquierda, es Mu Cephei. En esta misma fotografía se localizan al menos seis pequeñas nubes oscuras pertenecientes al catálogo que Barnard confeccionó de estos objetos.



A la derecha, ampliación de la parte central de IC 1396. Pueden verse algunas nubes oscuras que se recortan sobre la nebulosa brillante. En el ángulo superior izquierdo, la nebulosa oscura B 161.

(ambos formados por hidrógeno, carbono y nitrógeno, pero «ensamblados» de manera diferente en la molécula) y el formaldehído (H_2CO). Además, hay otras muchas moléculas inorgánicas, especialmente óxidos y sulfuros, como NO, NS, SiO, SiS, SO, SO_2 y O_2.

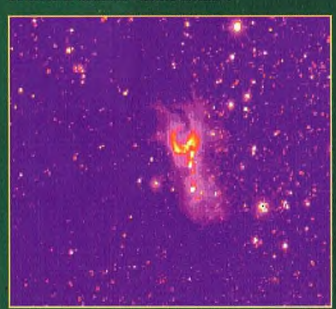
CÓMO SE FORMAN: DIVERSAS HIPÓTESIS

Los mecanismos que conducen a la formación de las moléculas presentes en el espacio todavía no se conocen con certeza. Al menos se han apuntado tres hipótesis: según la primera, se formarían en el interior de las nebulosas en las que se originan las estrellas y los planetas. La segunda hipótesis considera que pueden formarse en las nubes de polvo, siguiendo un proceso en el que dos o más átomos presentes en la superficie de un gránulo de polvo se unirían para formar una molécula. Finalmente, según la tercera hipótesis, las moléculas más simples se formarían alrededor de las estrellas frías y poco densas, como las gigantes rojas, las cuales las emitirían luego en una especie de viento estelar que «abonaría» el medio circundante en el que, con procesos que requerirían tiempos extremadamente dilatados, se formarían sucesivamente las moléculas complejas. Esta última hipótesis está apoyada por las observaciones que muestran que en las atmósferas muy expandidas de las gigantes rojas hay varias especies moleculares. También se sabe que desde ellas se propaga un flujo de materia llamado «viento estelar».

Probablemente, los iones positivos se forman cuando los rayos cósmicos ionizan las moléculas existentes en las grandes nubes moleculares. Luego, estos iones reaccionan con las moléculas de hidrógeno para producir iones más complejos. En cambio, las moléculas de hidrógeno (H_2) y las complejas cadenas de este elemento probablemente se forman mediante reacciones catalíticas en las partículas de polvo. Los átomos de gases o las moléculas que chocan contra una partícula pueden ser absorbidos por ésta y hallar así otros elementos con los que reaccionar por difusión. Más tarde, si las condiciones son favorables, el nuevo compuesto puede escapar de la partícula.

MOLÉCULAS Y COMETAS

El cometa Hyakutake, que pasó cerca de la Tierra entre marzo y abril de 1996, fue observado tanto con telescopios convencionales como con el telescopio de 12 m del National Radio Astronomy Observatory, situado en Kitt Peak (Arizona). Este instrumento es particularmente sensible a la radiación electromagnética de longitud de onda



A la izquierda, imagen en infrarrojo de la región de formación estelar GGD 27 IRS, obtenida con los instrumentos del Observatorio Británico Infrarrojo, en las islas Hawai. El estudio de las propiedades de las nubes de gas y polvo interestelares constituye uno de los principales campos de investigación de los astrónomos del Observatorio de Edimburgo.



A la derecha, fotografía obtenida con una cámara Schmidt, centrada aproximadamente en la nebulosa NGC 7635, la Bubble Nebula, o nebulosa burbuja, situada en los límites de las constelaciones de Casiopea y Cefeo. El brillante cúmulo abierto de la izquierda es M52. Casi encima y a la derecha de él se halla la nebulosa. Arriba, a la izquierda de NGC 7635, se ve la NGC 7538.

TODAS LAS MOLÉCULAS DESCUBIERTAS EN EL ESPACIO

DOS ÁTOMOS	TRES ÁTOMOS	CUATRO ÁTOMOS	CINCO ÁTOMOS	SEIS ÁTOMOS	SIETE ÁTOMOS	OCHO ÁTOMOS	NUEVE ÁTOMOS	DIEZ ÁTOMOS	ONCE ÁTOMOS	TRECE ÁTOMOS
H_2	C_3	$c\text{-}C_3H$	C_5	C_5H	C_6H	CH_3C_3N	CH_3C_4H	CH_3C_5N?	HC_9N	$HC_{11}N$
AlF	C_2H	$l\text{-}C_3H$	C_4H	C_5O	CH_2CHCN	$HCOOCH_3$	CH_3CH_2CN	$(CH_3)_2CO$		
AlCl	C_2O	C_3N	C_4Si	C_2H_4	CH_3C_2H	CH_3COOH?	$(CH_3)_2O$	NH_2CH_2COOH?		
C_2	C_2S	C_3O	$l\text{-}C_3H_2$	CH_3CN	HC_5N	C_7H	CH_3CH_2OH			
CH	CH_2	C_3S	$c\text{-}C_3H_2$	CH_3NC	$HCOCH_3$	H_2C_6	HC_7N			
CH^+	HCN	C_2H_2	CH_2CN	CH_3OH	NH_2CH_3		C_8H			
CNO	HCO	CH_2D^+?	CH_4	CH_3SH						
CO	HCO^+	HCCN	HC_3N	HC_3NH^+						
CO^+	HCS^+	$HCNH^+$	HC_2NC	HC_2CHO						
CP	HOC^+	HNCO	HCOOH	NH_2CHO						
CSi	H_2O	HNCS	H_2C_2O	$l\text{-}H_2C_4$						
HCl	H_2S	$HOCO^+$	H_2NCN							
NH	HNC	H_2CO	HNC_3							
NO	HNO	H_2CN	SiH_4							
NS	MgCN	H_2CS	H_2COH^+							
NaCl	MgNC	H_3O^+								
OH	N_2H^+									
PN	N_2O									
SO	NaCN									
SO^+	OCS									
SiN	SO_2									
SiO	$c\text{-}SiC_2$									
SiS	NH_2									
CS	H_3^+									

N.B. El signo de interrogación indica moléculas cuya identificación es incierta.



A la izquierda, una nube oscura de polvo en la constelación de Escorpión. Estas nubes no emanan luz visible, aunque la presencia de varios tipos de moléculas se traduce en una intensa emisión en forma de ondas radio que permiten «ver» dentro de las nubes.

A la derecha, fotografía de la Pipe Nebula, la nebulosa pipa. Se trata de una nube oscura, visible en la parte baja, a la izquierda, cuya forma recuerda precisamente la de una pipa. A la derecha, la región de Rho Ophiuchi.

de pocos milímetros, menor, por tanto, que las ondas radio normales utilizadas en las transmisiones, y mayor que la del infrarrojo. Las medidas han tenido por objeto la emisión de H_2CO, HCN y CO.

Especialmente, se ha visto que el índice de producción de este último variaba rápidamente en el período de varias semanas. Otro grupo de astrónomos, con el mismo instrumento, observó por primera vez en un cometa la presencia de la molécula de OCS cuando el Hyakutake se encontraba a unos 30 millones de kilómetros de la Tierra. Finalmente, se observó que el monóxido de carbono (CO) rodeaba el cometa formando una especie de nube bastante extensa, de más de 4.000 km.



UNICORNIO

El Unicornio es una constelación situada cerca de la Vía Láctea, rica en objetos nebulares.



Cerca de otras constelaciones mucho más conocidas, hallamos la del Unicornio, casi ignorada y poco llamativa, que no se definió hasta el siglo XVII.

CÓMO LOCALIZAR LA CONSTELACIÓN

El Unicornio celeste se encuentra al este de la celebérrima constelación de Orión, inmediatamente al norte del Can Mayor y cerca de la Vía Láctea.

ESTRELLAS PRINCIPALES

Todas las estrellas del Unicornio son bastante débiles: de magnitud cuarta o superior. A pesar de ello, muchas son dobles o triples y suelen ser muy bellas. La más luminosa es Alfa, de magnitud 3,9 y color anaranjado.

Beta es una estrella múltiple, formada por tres estrellas fácilmente separables incluso con pequeños instrumentos. Las magnitudes son, respectivamente, 4,7, 5,2 y 6,1.

Épsilon (magnitud 4,3) es una estrella doble cuyas componentes brillan con luz amarilla (magnitud 4,5) y azul (magnitud 6,5), lo que ofrece un notable contraste cromático.



LOS MITOS Y LAS ESTRELLAS

UNICORNIO

La constelación del Unicornio apareció por primera vez en un atlas celeste de 1613, en el planisferio del astrónomo holandés Plancio; según otras fuentes, la primera aparición se produjo en 1624 en el atlas de Bartsch. Plancio era un teólogo que quiso introducir en el firmamento el fabuloso animal provisto de un único cuerno –de ahí el nombre–, que simboliza la pureza y que se cita a menudo en la Biblia. Sin embargo, parece que esta constelación ya era conocida en tiempos remotos.

En esta constelación puede observarse una interesante estrella variable conocida con la letra S. Sus variaciones de luminosidad la hacen oscilar desde la magnitud 4,6 a la 4,7. A poco menos de 3" encontramos una compañera de magnitud 7,6, observable con instrumentos pequeños.



La Nebulosa Roseta, uno de los objetos más bellos del firmamento, merece este nombre por su forma inconfundible.



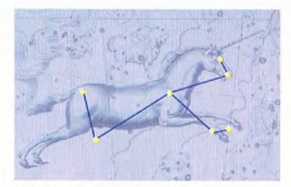
La Nebulosa Cono debe el nombre a su forma, derivada de la alternancia de nubes de hidrógeno y de polvo que enmascaran la luz procedente de las regiones posteriores.

OTROS OBJETOS DEL UNICORNIO

La constelación del Unicornio, gracias a su posición próxima al plano ecuatorial galáctico, es rica en interesantes objetos telescópicos.

M50 es un cúmulo abierto que cubre una zona de bóveda celeste de diámetro igual a dos tercios del lunar. Es un objeto de sexta magnitud fácilmente observable con pequeños instrumentos.

Pero la verdadera celebridad de la constelación del Unicornio es una nebulosa situada no lejos de la estrella Épsilon. Se la designa como NGC 2237-9 o también, a causa de su forma, con el sobrenombre de Nebulosa Roseta.



El Unicornio es un animal mitológico, representado generalmente por un caballo blanco con un largo y fino cuerno en la frente.

Se trata de una región de gas hidrógeno ionizado en cuyo interior hay un cúmulo abierto de estrellas jóvenes, conocido como NGC 2244. Estas estrellas se formaron con parte del gas que dio origen a la nebulosa y contribuyen a iluminarla con la emisión de rayos ultravioleta.

En el interior de la nebulosa pueden verse asimismo numerosos «glóbulos de Bok», es decir, unos puntitos que se recortan sobre el fondo luminoso de la nebulosa como manchas oscuras. Están formados por condensaciones de gas y polvo que, por acción de la gravedad, van formando unos «grumos» que serán el origen de nuevas estrellas. Por tanto, la Nebulosa Roseta es una forja de estrellas en pleno funcionamiento.

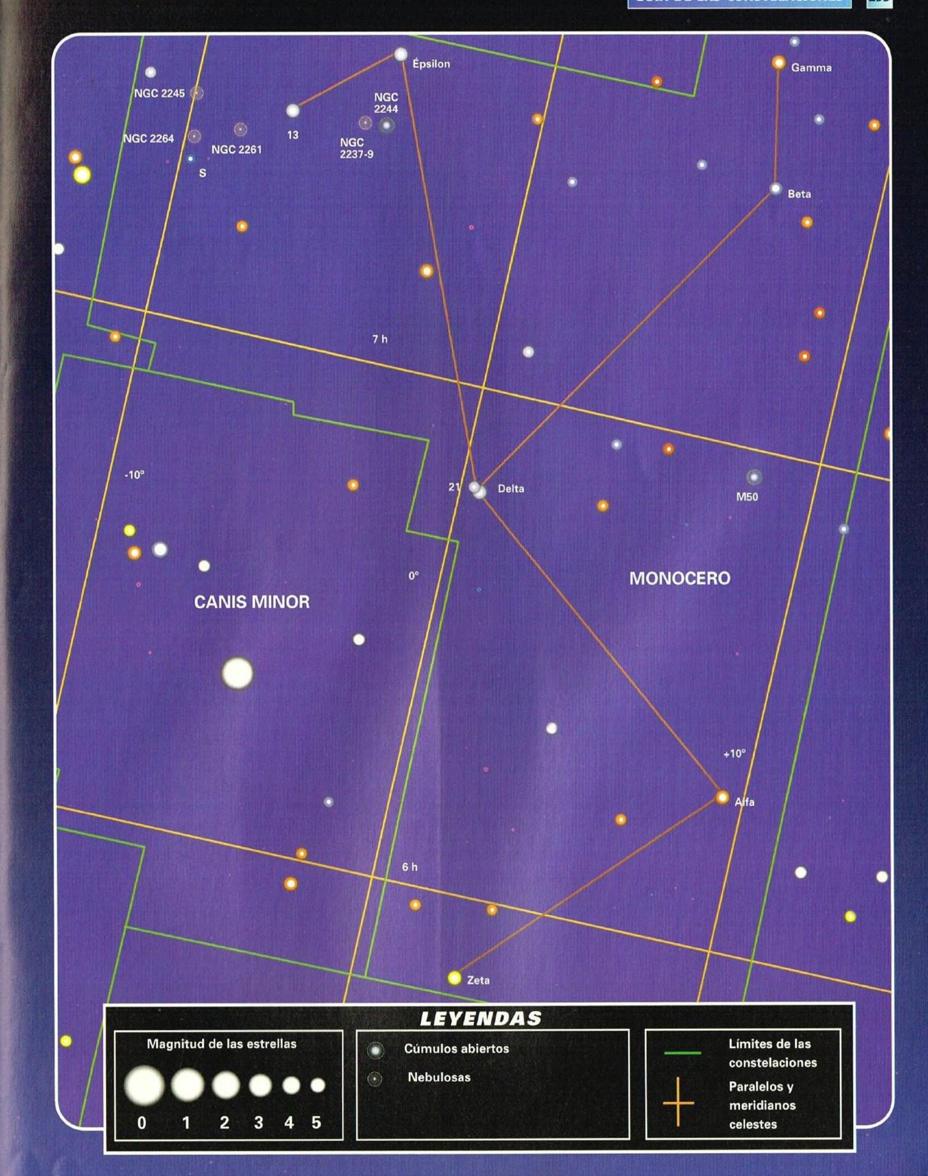
Otras nebulosas son NGC 2261 y NGC 2264. La primera es débil y de luminosidad no constante, ya que varía rápidamente incluso en una magnitud. Por ello, se conoce también como Nebulosa Variable de Hubble. Alberga la estrella variable R, que oscila irregularmente entre la décima magnitud y la decimosegunda.

La segunda recibe también el nombre de Nebulosa Cono, porque su forma sugiere la de este cuerpo geométrico. Contiene, como la Roseta, un cúmulo abierto y la estrella S.

DÓNDE BUSCARLA

UNICORNIO

Unicornio es una constelación invernal, como lo atestigua su cercanía a Orión y a la luminosa Sirio. El ecuador celeste atraviesa esta constelación dividiéndola casi por la mitad. Esto significa que podremos observar las joyas que encierra prácticamente desde cualquier punto de la Tierra. Abarca una región del cielo comprendida entre las 5 horas 55 minutos y las 8 horas 10 minutos de ascensión recta, y entre 11° S y 12° N de declinación, aproximadamente.


Épsilon
Gamma
NGC 2245
NGC 2244
NGC 2264
NGC 2261
13
NGC 2237-9
S
Beta
7 h
-10°
21
Delta
M50
0°
MONOCERO
CANIS MINOR
+10°
Alfa
6 h
Zeta
LEYENDAS
Magnitud de las estrellas
0 1 2 3 4 5
Cúmulos abiertos
Nebulosas
Límites de las constelaciones
Paralelos y meridianos celestes

APOLLO-SOYUZ:

LOS PODEROSOS DE LA TIERRA, JUNTOS EN EL ESPACIO

En julio de 1975, una Soyuz de la Unión Soviética y una Apollo estadounidense se acoplaron a 250 km de altura de la Tierra. Durante dos días, astronautas estadounidenses y cosmonautas soviéticos vivieron y trabajaron juntos.



El alba del 15 de julio de 1975 vio cómo un misil lanzador de dos fases del tipo Vostok se elevaba del polígono soviético de Baikonur, cerca del lago Baikal, para colocar en órbita terrestre, a 265 km de altura, una cápsula Soyuz con dos cosmonautas a bordo. Siete horas y media más tarde, un lanzador de dos fases Saturno 1B se elevó de la rampa 39 A de Cabo Kennedy e impulsó hasta una órbita casi idéntica una cápsula Apollo con tres astronautas estadounidenses a bordo. Empezaba así una empresa espacial cuya preparación se había iniciado dos años antes, al concretarse un protocolo político firmado por las dos superpotencias.

El objetivo de este viaje era verificar la posibilidad de un *docking* en el espacio, es decir, del acoplamiento de dos cápsulas diseñadas de manera totalmente distinta.

«DEL BRAZO» DURANTE DOS DÍAS

En las horas que siguieron al lanzamiento, la Apollo modificó su órbita, aumentando la altura y variando la inclinación hasta llegar a las proximidades de la Soyuz. Luego, las dos cápsulas se acoplaron y navegaron «del brazo» durante dos días. En este tiempo, los astronautas estadounidenses pasaron a la cápsula soviética y los cosmonautas soviéticos a la Apollo. En los dos días de vida en común, las tripulaciones efectuaron una serie de experimentos científicos. Cumplido el programa, ambas astronaves se separaron y cada una continuó orbitando por su cuenta. Diez días después del lanzamiento, regresaron a la Tierra con trayectorias independientes: la Soyuz aterrizó cerca del polígono del que había partido, y la Apollo concluyó su misión con la habitual inmersión en el Pacífico.

En ciertos aspectos, la misión Apollo-Soyuz fue considerada casi más importante que la conquista de la Luna. Una astronave soviética y otra estadounidense que giraban unidas alrededor de la Tierra constituía el símbolo de una nueva era: algo inimaginable muy pocos años antes. Fue la señal tangible de un acuerdo entre potencias durante mucho tiempo adversarias, que sólo la conquista espacial había aproximado en beneficio general.



Fotografía de las dos placas conmemorativas del proyecto Apollo-Soyuz en el momento de ser fijadas en la Soyuz, durante la misión conjunta. Ambas están escritas en inglés y en ruso.



Abajo, Valeri N. Kubásov (a la izquierda) y Thomas P. Stafford, comandante de la tripulación de la Apollo, durante el encuentro en órbita Apollo-Soyuz en julio de 1975.



La cápsula Apollo fotografiada desde la Soyuz. El módulo de mando y el de acoplamiento se destacan sobre el fondo negro del firmamento. En el extremo inferior, la Tierra.



Imagen tomada desde la Soyuz de la cápsula estadounidense Apollo en órbita alrededor de la Tierra. En la parte frontal se ven los mecanismos de acoplamiento; en la posterior, la antena de alta potencia para las transmisiones de radio.

1 Despegue de la Soyuz
2 Maniobra de ajuste de la órbita de la Soyuz
3 Despegue de la Apollo
4 Rotación
5 Acoplamiento
6 Extracción del módulo acoplado
7 Maniobra de aproximación de la Apollo
8 Maniobra de rotación de la Soyuz
9 Acoplamiento
10 Operaciones de la tripulación
11 Salida de la órbita de la Soyuz
12 Aterrizaje de la Soyuz
13 Salida de la órbita de la Apollo
14 Amerizaje de la Apollo

Representación esquemática de las diversas fases de la misión conjunta Apollo-Soyuz.

La misión conjunta se conocía en el argot de la NASA con las siglas ASTP (Apollo-Soyuz Test Project). La tripulación soviética estaba formada por Alexéi Leónov y Valeri Kubásov, dos veteranos del espacio. Leónov se había hecho famoso porque fue el primer hombre que salió de una astronave, la Vostok-2, para dar un paseo espacial. La tripulación estadounidense la componían Thomas Stafford, Vance Brand y Donald Slayton.

El vuelo Apollo-Soyuz hizo pensar en la posibilidad de un trabajo conjunto en el espacio, como muchos habían sugerido desde los comienzos de la era espacial. Pero,

La cápsula Apollo estaba compuesta de dos partes principales, bien visibles en la ilustración de abajo. A la derecha, la parte proyectada para acoplarse a la Soyuz; a la izquierda, el cuerpo principal en el que se alojaban los astronautas.



EL MÓDULO DE ACOPLAMIENTO

Seguramente, la parte más compleja de la misión fue la construcción del módulo de acoplamiento, que debía permitir a las dos cápsulas, muy diferentes entre sí, unirse para que los astronautas pudieran pasar de una a otra. Después de varias investigaciones se dio al módulo de acoplamiento una forma cilíndrica, con un diámetro de casi 1,5 m y una longitud aproximada de 3 m. Debía hacer las funciones de cámara estanca para el paso interior de las tripulaciones entre las diferentes atmósferas de las cápsulas Apollo y Soyuz. Una vez en órbita, la atmósfera de la Apollo era oxígeno puro a una presión de 0,351 kg/cm^2. En cambio, la Soyuz utilizaba una mezcla de nitrógeno y oxígeno a una presión equivalente a la terrestre a nivel del mar: 1,33 kg/cm^2. Durante la fase de acoplamiento de las cápsulas, la presión de la Soyuz se redujo desde su valor normal hasta cerca de 0,7 kg/cm^2. Esto permitió a los miembros de la tripulación el paso de la Soyuz a la Apollo en condiciones estancas para respirar oxígeno puro y eliminar el nitrógeno contenido en la sangre. El módulo de acoplamiento también disponía de comunicaciones por radio y televisión autónomas, antenas, gas de reserva y calefacción, como si se tratara de una pequeña astronave. Podía alojar simultáneamente a dos miembros de la tripulación. Las aberturas, provistas de controles desde ambos lados, fueron instaladas en los dos extremos del módulo.

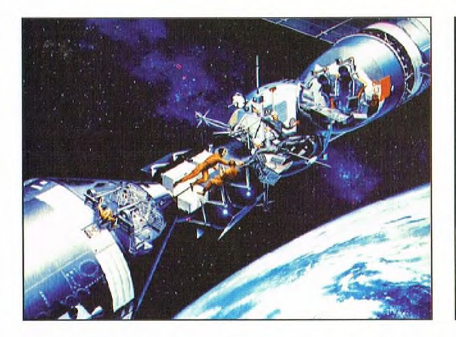
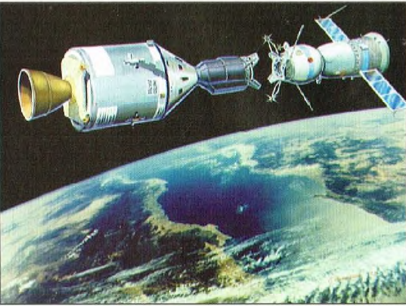
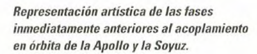


Imagen artística de las cápsulas espaciales acopladas en órbita y del momento en que las dos tripulaciones se encuentran por primera vez.





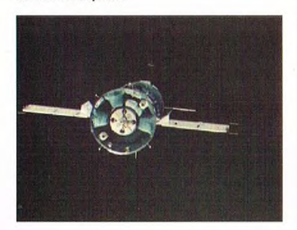
Representación artística de las fases inmediatamente anteriores al acoplamiento en órbita de la Apollo y la Soyuz.

en realidad, esto era imposible, ya que tras una empresa tan espectacular subyacía una confrontación política, militar y tecnológica tal, que hacía absurda cualquier propuesta de colaboración.

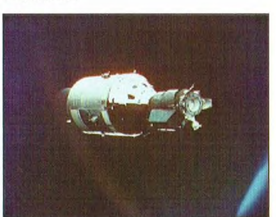
EL VUELO MINUTO A MINUTO

• 15 de julio, a las 14.20. La Soyuz parte del cosmódromo de Baikonur en dirección noreste. Unos minutos más tarde, después de separarse de las dos primeras fases, se coloca en órbita terrestre a una distancia mínima y máxima de la Tierra de 188 y 228 km, respectivamente.
• 15 de julio, última hora de la tarde. Entre la cuarta y la decimoséptima vuelta alrededor de la Tierra, la Soyuz maniobra a fin de hacer que su órbita sea circular a una altura de 225 km.
• 15 de julio, a las 21.50. Desde Cabo Cañaveral es lanzado el gigantesco cohete Saturno que lleva en su extremo superior la cápsula Apollo con los tres astronautas estadounidenses y el módulo de enganche especial que servirá para acoplar la nave a la Soyuz. Este módulo está contenido en un cilindro metálico unido a la cola de la cápsula. El conjunto entra en órbita a 150,167 km de altura.
• 15 de julio, a las 22.50. La cápsula se separa del módulo de enganche y gira sobre sí misma para verlo por la parte de proa.
• 15 de julio, a las 23.15. La cápsula Apollo vuelve a entrar en contacto con el módulo de enganche y se une a él.
• 16 de julio, entre medianoche y las 2 de la madrugada. La Apollo extrae el módulo de enganche de su contenedor. La operación termina a las 2.34.
• 16 de julio, a las 3.32. La Apollo inicia las maniobras para colocarse en la misma órbita que la Soyuz, lo que la lleva a una altura de 225 km. Empieza el gran seguimiento: durante 38 horas, los ordenadores de a bordo y los de tierra dan a los astronautas las instrucciones para las delicadas maniobras que tanto la Apollo como la Soyuz han de efectuar para encontrarse en el mismo punto.
• 17 de julio, a las 14.54. La Soyuz se coloca en posición de *docking*. A las 17.14, la Apollo y la Soyuz se encuentran una frente a otra.
• 17 de julio, a las 18.15. Se realiza el *docking*, el acoplamiento entre las dos cápsulas. Desde ese momento, y durante 2 días y 6 horas, formarán una sola unidad de vuelo.
• 17 de julio, a las 20.02. Empieza la actividad científica. A través del módulo de enganche, las tripulaciones pasan cuatro veces de una cápsula a otra y efectúan experimentos científicos comunes.
• 19 de julio, a las 17.26. La Soyuz y la Apollo se separan, pero no regresan inmediatamente a la Tierra. Continúan su viaje haciendo otros experimentos científicos. Pasadas 43 horas, la Soyuz se coloca en una órbita más baja e inicia las maniobras de reentrada.
• 21 de julio, a las 12.51. La Soyuz toma tierra en Kazajstán.
• 24 de julio, a las 21.19. La Apollo inicia las maniobras de reentrada.

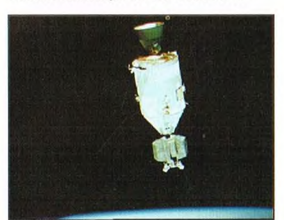
Fotografía de la cápsula Soyuz tomada por los astronautas de la Apollo. Las dos «alas» que sobresalen hacia el exterior son los paneles solares utilizados para producir la energía que necesita la cápsula.



Otra imagen de la cápsula Apollo tomada desde la Soyuz. Se ven perfectamente las dos partes que la forman: módulo de mando y módulo de acoplamiento.



De nuevo la Apollo fotografiada por los cosmonautas de la Soyuz. Estas imágenes fueron cedidas por los soviéticos a cambio de otras similares tomadas por los estadounidenses.



DONALD SLAYTON: SELECCIONADO, RECHAZADO, SELECCIONADO

La historia como astronauta de Donald Slayton, piloto del módulo de acoplamiento, es cuando menos curiosa. Fue seleccionado en el primer grupo de astronautas que, a finales de 1959, habían sido elegidos para ser puestos en órbita terrestre a bordo de las primeras cápsulas de la NASA. Finalmente, fue designado piloto de la misión Mercury-7, pero en el último momento tuvo que renunciar porque los médicos le detectaron un problema cardíaco. Después de haber sido jefe de los astronautas de la NASA durante el período más entusiástico de la conquista espacial en 1972, Slayton se encontraba en excelentes condiciones de salud y, por tanto, fue restituido a su rango de astronauta activo.



Los protagonistas del encuentro en el espacio posan en el Kennedy Space Center un mes después de la misión. De izquierda a derecha, Donald Slayton, Vance Brand, Thomas Stafford, Alexéi Leónov y Valeri Kubásov.

• 24 de julio, a las 23.18. La Apollo desciende sobre el océano Pacífico, en un lugar cercano a Hawai. Han transcurrido nueve días desde su lanzamiento.

MANUAL DE CONVERSACIÓN PARA COMUNICARSE EN EL ESPACIO

Los cosmonautas soviéticos y los astronautas estadounidenses de la misión Apollo-Soyuz disponían, para comunicarse entre sí, de un manual de conversación inglés-ruso. El opúsculo, preparado por la NASA, tenía 24 páginas y su finalidad era sugerir las palabras exactas que debían decirse en todo momento a lo largo de los dos días de actividad espacial conjunta, así como en los contactos de radio iniciales durante las maniobras de acoplamiento, las visitas y la separación final. Al prepararse para esta misión, cada tripulación estudió los dos idiomas y, al comunicarse entre ellos, los rusos hablaban en inglés y los estadounidenses lo hacían en ruso. A los tripulantes, lo mismo que a los turistas en un país extranjero, se les sugirió el modo de establecer contacto verbal cuando las cápsulas se hallasen todavía a 400 km de distancia.

Una espectacular representación artística del encuentro Apollo-Soyuz en el espacio.

LA ESTACIÓN ALPHA

Se trata de un proyecto extremadamente ambicioso: construir en el espacio estaciones de apoyo para proceder a la exploración de nuestro sistema solar. En la realización de la estación ALPHA trabajan técnicos de muchos países.



Uno de los objetivos fundamentales de la astronáutica es construir estaciones espaciales que, en un futuro más o menos lejano, puedan servir como trampolín de lanzamiento para la exploración de nuestro sistema solar y quizá de las estrellas. Naturalmente, el primer paso es la construcción de una estación en órbita permanente alrededor de nuestro planeta. En este sentido, la realización de la estación internacional ALPHA representa, sin duda, el proyecto más ambicioso.



Unos astronautas trabajan en una piscina (el agua ayuda a simular la ausencia de gravedad) para ensayar un sistema de anclaje de la futura estación espacial. Naturalmente, cada pieza ha de ser comprobada rigurosamente antes de su empleo en órbita.

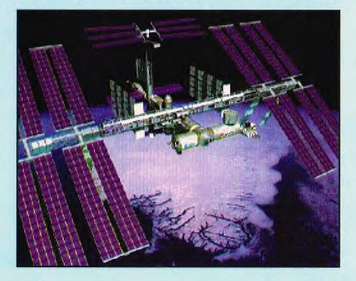
UN PROYECTO COLECTIVO

La estación espacial ALPHA constituirá un paso decisivo para el aprovechamiento del medio interplanetario con finalidades científicas, y proporcionará el impulso necesario para hacer viable la colonización humana del espacio, abriendo así una nueva era en la historia de la exploración espacial. El proyecto, uno de los más grandiosos concebidos en los veinte últimos años, será fruto de una estrecha colaboración entre Europa, Estados Unidos, Canadá, Rusia y Japón; de ahí el adjetivo «internacional» aplicado a la estación. Aunque es muy sugestivo pensar que esta colaboración ha nacido de nobles ideales, en realidad ha obedecido a un tipo de exigencia más práctica, ya que habría sido imposible la realización del proyecto aisladamente por parte de las agencias espaciales de los distintos países. En cuanto la estación espacial ALPHA se haya completado en junio del 2002, será ocupada permanentemente por tripulaciones de seis personas, que se alternarán hasta el 2012, fecha prevista para el final de su vida operativa. La realización de la estación ALPHA pasará por tres fases principales, cada una de las cuales durará entre dos y tres años.

Abajo, a la derecha, dibujo artístico del aspecto que tendrá la estación espacial ALPHA en órbita alrededor de la Tierra. Obsérvese el gran despliegue de paneles solares. La estación se ha proyectado como módulos independientes que se acoplarán en el transcurso de varios años.

LA FASE PRELIMINAR

La primera fase, de carácter preliminar, está actualmente en curso. Se inició en febrero de 1994 con el lanzamiento del transbordador Discovery (misión 60 del programa Shuttle) al encuentro de la estación orbital MIR, alrededor de la cual está destinada a desarrollarse la futura estación ALPHA. Uno de los miembros de la tripulación era el cosmonauta ruso Serguéi Krikáliev, que pasará a la historia por haber sido el primero de su país que voló a bordo de una cápsula espacial estadounidense. El objetivo principal de esta primera fase será estudiar todos los aspectos técnicos referentes al acoplamiento de estructuras en



LAS ESTACIONES ESPACIALES ESTADOUNIDENSES Y RUSAS

Poder disponer de estaciones espaciales permanentes alrededor de nuestro planeta ha sido uno de los sueños más osados de los pioneros de la astronáutica. Las primeras estaciones espaciales fueron puestas en órbita en los años sesenta/setenta por la Unión Soviética. Se trataba de sondas de la clase Salyut, simples módulos puestos en órbita automáticamente a los que llegaban tripulaciones humanas a bordo de las cápsulas Soyuz y Progress.

Hubo dos generaciones de Salyut, que fueron reemplazadas en 1986 por la estación MIR, cuyas dimensiones han sido ampliadas con los años mediante la adición de nuevos módulos.

En cambio, la construcción de estaciones estadounidenses fue aplazada a causa de la política diferente de la NASA. En los años sesenta se dio prioridad a la realización del programa Apollo, y en los setenta todos los recursos se dedicaron al programa Shuttle. En 1984, durante el tradicional discurso sobre el estado de la nación, el entonces presidente Reagan propugnó la realización de la estación espacial Freedom. Pero, con el paso de los años, los crecientes costes y los recortes cada vez mayores que el presupuesto federal imponía a la NASA abrieron el camino a la cooperación internacional para la construcción de una estación espacial única y grande. Nacía el proyecto ALPHA.



A la izquierda, comprobación en piscina de una escotilla de la estación ALPHA. Las partes que permitirán comunicar el interior con el exterior de la base espacial son algunas de las estructuras más delicadas del sistema. A ellas podrán acoplarse las cápsulas que abastecerán la base.



A la derecha, un astronauta prueba en piscina la cobertura de una cúpula de la estación espacial. A una altura de más de 400 km sobre la superficie terrestre, los astronautas gozarán, sin duda, de un espléndido panorama.

el espacio y, por parte de los estadounidenses, superar el diferente nivel de experiencia que les separa de sus colegas rusos. La primera fase concluyó en mayo de 1998 con la novena misión Shuttle reservada a este programa, que llevó a bordo de la MIR algunos aparatos científicos auxiliares. En esta primera parte, el papel protagonista corrió a cargo de la nave Atlantis, con siete misiones, frente a las dos de la nave Discovery.

LA SEGUNDA FASE

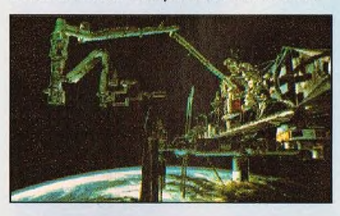
La segunda fase comenzó pocos meses después, señalando el inicio real de la construcción de la estación ALPHA y la realización de los primeros experimentos científicos a bordo del complejo. Durante las diversas misiones se acoplarán al cuerpo de la MIR algunos de los componentes esenciales, entre ellos un módulo adicional de 20 toneladas, el FGB, que servirá para dar cabida a todos los sistemas utilizados para el control del ajuste de la estación y el sistema de propulsión correspondiente. Este módulo, diseñado originariamente para misiones militares, será de construcción rusa y lo llevará hasta su órbita, no el transbordador, sino el lanzador ruso Proton, que partirá, como es tradicional, del cosmódromo de Baikonur. Otros componentes fundamentales que se acoplarán en esta fase serán los sistemas de atraque, que permitirán tanto a los transbordadores de la NASA como a las cápsulas rusas Soyuz atracar en la estación para la transferencia de hombres y materiales.

En esta segunda fase, los esfuerzos se repartirán equitativamente entre los dos principales socios del proyecto (Estados Unidos y Rusia), que participarán con seis vuelos cada uno. Se pondrá a punto la habitabilidad de la estación, lo que permitirá a las tripulaciones futuras vivir a bordo durante largos períodos de tiempo. A finales de 1998 debió empezar también la ocupación permanente de la MIR –actualmente convertida, a todos los efectos, en estación ALPHA– por parte de una tripulación internacional. Inicialmente, deberá haber constado de sólo tres hombres, que se doblarán en número en cuanto la estación sea completamente operativa. La vuelta a la Tierra de las diversas tripulaciones se garantiza alternativamente por el Shuttle o la Soyuz. Esta segunda fase concluirá alrededor de febrero de 1999 con la misión Shuttle número 94, durante la cual se acoplará un nuevo módulo, de construcción estadounidense, que albergará uno de los futuros laboratorios.

LA ESTACIÓN ESPACIAL PASA A SER OPERATIVA

La tercera y última fase es también la más importante y habrá de dejar la estación ALPHA casi completamente terminada y en condiciones de operatividad. Para ello serán necesarias cerca de treinta misiones, distribuidas a lo largo de tres años a partir de mayo de 1999. En esta última fase también se intensificarán las misiones científicas a bordo de la

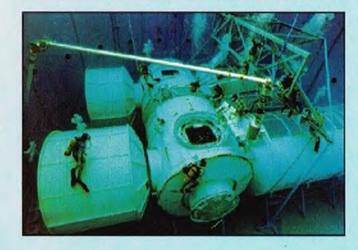
El Mobile Servicing System, representado en el dibujo del centro, a la izquierda, es la aportación canadiense a la estación ALPHA. Se trata de un robot dotado de un brazo mecánico con el que se podrá colaborar en el montaje de la estación, recuperar y soltar satélites y efectuar eventuales reparaciones en el exterior de la base.

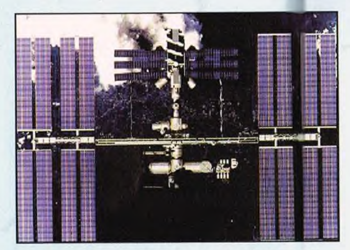


Abajo, a la izquierda, representación de la estación ALPHA tal como será una vez completadas todas sus partes. Se ha indicado el año 2002 como la fecha en que terminarán los trabajos, pero estos proyectos tan ambiciosos raramente cumplen los plazos previstos.



Algunas de las estructuras principales de la futura estación espacial son comprobadas por la NASA en tierra, pero en piscina. En la fotografía de la derecha se ven algunos de los módulos que formarán la estación, en cuya construcción participan las naciones tecnológicamente más avanzadas del mundo.





Representación artística de la estación ALPHA en órbita alrededor de la Tierra. Una vez completada, esta base tendrá una vida operativa previsible de unos diez años, durante los cuales estará permanentemente habitada por varios equipos de astronautas y científicos. Los experimentos que se harán permitirán dar un gran paso en los conocimientos de biología y fisiología del espacio y posibilitarán la construcción de nuevos materiales en ausencia de gravedad.

EL MAYOR COMPLEJO ESPACIAL

La masa total de la estación, una vez terminada, pesará unas 1.000 toneladas, lo que hará de ella el complejo espacial más pesado jamás puesto en órbita por el hombre. Ofrecerá a sus ocupantes un volumen habitable de unos 1.200 m^3, divididos en zonas de trabajo y de reposo. Inicialmente, la estación espacial orbitará alrededor de la Tierra a una altura media de unos 350 km. En el 2001, la cota aumentará hasta unos 450 km. Esta variación vendrá determinada por la coincidencia con el máximo de actividad solar, que implicará un aumento del flujo de radiación ultravioleta incidente en la atmósfera terrestre. Esto provocará su expansión hasta comprender la órbita inicial de la estación espacial. Los daños que ésta podría sufrir serían suficientes para producir el descenso de su órbita. Por este motivo, al cabo de tres a cuatro meses recibirá un empuje centrífugo para mantenerse en una órbita óptima.

estación. En el año 2000, se añadirá el Módulo Científico Japonés (JEM) y, hacia finales del 2002 o a lo sumo a comienzos del 2003, el Módulo Columbus, construido por la Agencia Espacial Europea. La puesta a punto de la estación contará en estos años con una intervención más directa de Europa y Japón. El Módulo Columbus debería ser lanzado directamente por el Ariane-5, de la ESA, y el JEM tendría que ser puesto en órbita por un lanzador japonés.

El acoplamiento de un nuevo módulo habitable de construcción japonesa, previsto para junio del 2002, hará posible la ocupación permanente de la estación por una tripulación de seis hombres. El acoplamiento de una segunda cápsula Soyuz, que debería servir de bote salvavidas, completará la habitabilidad de la estación y constituirá, prácticamente, el acto final del proyecto. Lo que falte se montará a continuación durante nuevos vuelos del transbordador previstos en el programa operativo de la estación.

Abajo, representación artística de una cápsula espacial acoplada a la estación ALPHA para dejar en ella hombres o materiales. Los transbordadores deberían hacer de lanzadera entre la Tierra y la estación, abasteciéndola y renovando las tripulaciones.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

A LA CAZA DE LOS PLANETAS HABITADOS

ESTRELLAS Y GALAXIAS

EL UNIVERSO Y SU ORIGEN

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

EL NOMBRE DE LAS CONSTELACIONES

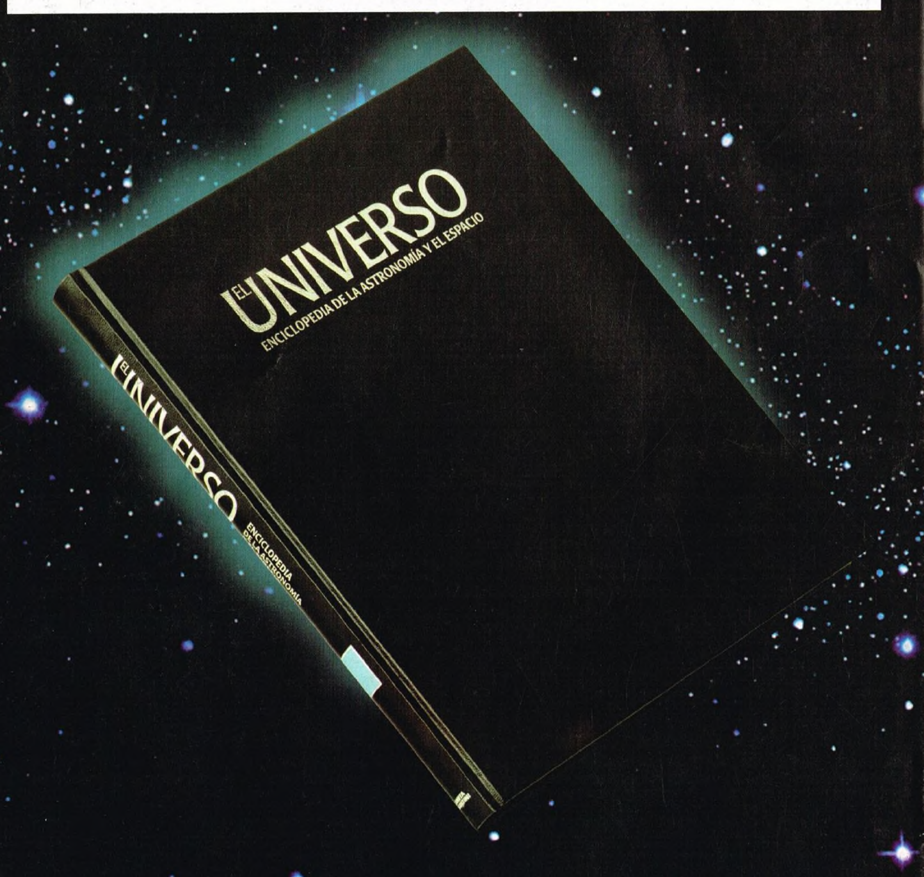
CÓMO FUNCIONA EL UNIVERSO

SISTEMAS DE REFERENCIA

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

DEL X-33 AL VENTURESTAR

Con el próximo fascículo estarán a su disposición en todos los puntos de venta las tapas intercambiables.

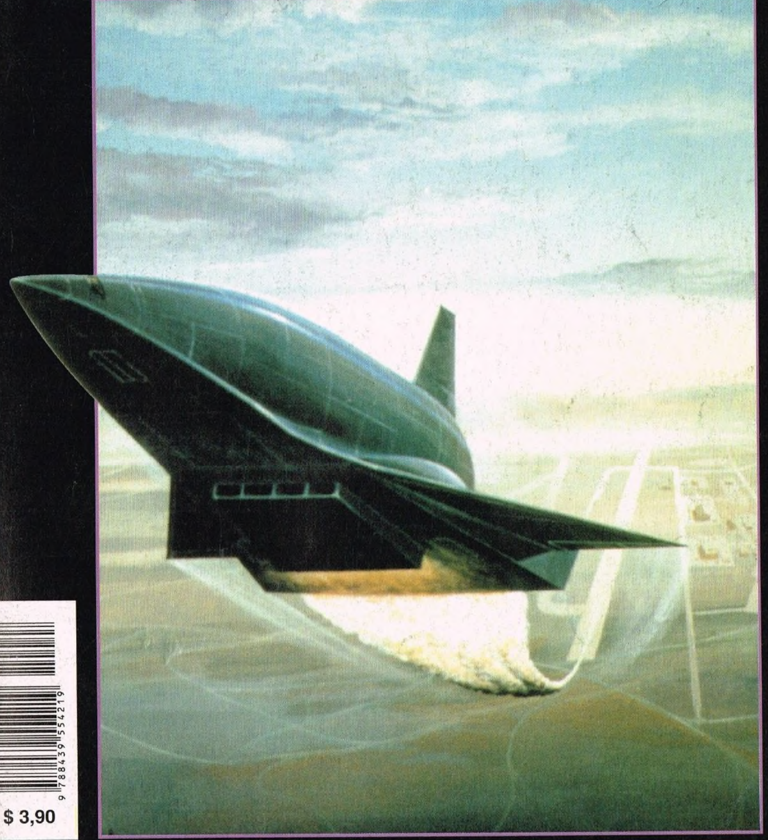


Estas tapas sirven para encuadernar dieciséis fascículos y van acompañadas de un juego completo de transferibles. De esta manera, usted mismo puede ordenar los volúmenes según van apareciendo. Basta colocar en el lomo el número que corresponda.

EL UNIVERSO

ENCICLOPEDIA DE LA ASTRONOMÍA Y EL ESPACIO

48



9 788439 554219 10048

$ 3,90

PLANETA DeAGOSTINI



COMPOSICIÓN DE LA OBRA

Volumen 1	Fascículos 1	al	16
Volumen 2	Fascículos 17	al	32
Volumen 3	Fascículos 33	al	48
Volumen 4	Fascículos 49	al	64
Volumen 5	Fascículos 65	al	80

VENTA EN QUIOSCOS

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de EL UNIVERSO. Adquiriéndolo todas las semanas en el mismo punto de venta facilitará la distribución y obtendrá un mejor servicio.
Las tapas correspondientes a cada volumen se ponen a la venta con el fascículo que cierra el tomo. Con dicho fascículo se entregan las portadillas correspondientes.

Presidente: José Manuel Lara
Director General: Carlos Fernández
Director Editorial: Virgilio Ortega
Director General de Producción: Félix García
Coordinador General: Carles Dorico

© Editorial Planeta Argentina S.A.I.C.
Av. Independencia, 1668 - Capital Federal
Servicio de atención al cliente: Tel. (01) 482 - 0655 y 482 - 0657
Distribuye: Capital: Huesca-Sanabria,
Baigorri, 103, Capital Federal,
Interior: D.G.P., Alvarado, 2118, Capital Federal

© Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Av. Insurgentes Sur # 1162 - México D.F.
Servicio de atención al cliente: Tel. 575 13 48

© Editorial Planeta Colombiana, S.A.
Carrera, 68, n.º 25-55 - Santa Fé de Bogotá, D.C.
Servicio de atención al cliente: Tel. 9800 - 15315

© Editorial Planeta Chilena, S.A.I.C.
Olivares, 1229 - Santiago de Chile

ISBN Obra completa (con vídeo): 84-395-4148-1
Obra completa (sin vídeo): 84-395-4138-4
Fascículos (con vídeo): 84-395-4149-X
Fascículos (sin vídeo): 84-395-4139-2
Depósito legal: B-47.097-1997

Impresión: Cayfosa, Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona
Impreso en España - Printed in Spain - Mayo 1998

Los editores se reservan el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias así lo exigieran.
Los editores garantizan la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

Fotografías: Lee Gibbons: cubierta, 116-117, 116ab., 117ar.; ESA/SPL: 107c.der.; E.T. Archive: 106ar.; Galaxy Picture Library: 101, 104, tercera de cubiertas; IGDA: 107ar.der.; Science Photo Library/Julian Baum: 106-107; Dr. Jeremy Burgess: 103 der.; Range: 111; Hugh Rowland: 110; Spectrum: 110, 111; US Naval Observatory: 112ar.izq.; Bristock-IFA: 114-115; BNSC/ESA: 118ab.; ESA: 118-119, 119ab., 120c.; Tony Stone Picture Library: 120ab.
Dibujos: Robin Carter/WLAA: 104-105, 117ab.; David A. Hardy: 102-103; Hugh Rowland: 105, 106ab., 120; Katz: 108-109; Sandra Russell/Black Hat: 112ar.; Julian Baum: 113; Farroxs: 116ar.; Robin Bottel: 115ab.; Spectrum Picture Library: 114ab.

A LA CAZA DE LOS PLANETAS HABITADOS

La posibilidad de que en torno a muchas estrellas existan sistemas planetarios es ampliamente aceptada por la comunidad astronómica internacional; además, hay resultados tangibles que confirman la hipótesis. Otra cosa es la probabilidad de hallar planetas similares al nuestro en los cuales se haya desarrollado vida inteligente. Pero el enorme tamaño del universo juega a favor de esta eventualidad.

Los resultados que en los dos o tres últimos años han brindado las primeras pruebas bastante seguras del descubrimiento de sistemas planetarios alrededor de estrellas vecinas representan el primer éxito de un proceso que se remonta a mucho tiempo atrás. Hace bastantes años que los astrónomos conjeturaron la existencia de sistemas planetarios similares al sistema solar alrededor de otras estrellas; ya a finales de los años ochenta la NASA creó un grupo de trabajo con el cometido de elaborar proyectos de búsqueda de sistemas planetarios extrasolares (exteriores al sistema solar). En 1990, este grupo realizó un estudio, llamado TOPS, del inglés Toward Other Planetary Systems (Hacia Otros Sistemas Planetarios), en el que se trazaba la estrategia general que debía adoptarse para el futuro inmediato.



Planetas habitables como el que muestra el dibujo existen probablemente no sólo en el universo en general sino también en nuestra Galaxia.

Se contemplaban distintas posibilidades técnicas. Una de ellas consistía en la construcción de enormes telescopios que habría que poner en órbita alrededor de la Tierra; estos telescopios debían utilizarse de modo interferométrico, esto es, combinando por medio de un ordenador las imágenes obtenidas por cada uno de ellos a fin de aumentar enormemente su poder de resolución (la capacidad de ver detalles finos). Otra técnica preveía la instalación de instrumentos en la superficie lunar, donde no existen perturbaciones atmosféricas y es posible trabajar las 24 horas del día.

PRUEBAS RECIENTES

Hasta hace muy pocos años, debido a los límites impuestos por la tecnología de los telescopios y de los instrumentos conexos, las hipótesis sobre la existencia de sistemas extrasolares no podían verificarse. Hoy, en cambio, la búsqueda a distintas longitudes de onda (por ejemplo, en el infrarrojo, donde emiten la mayor parte de su radiación cuerpos fríos como los planetas) y sobre todo la mejora de la interferometría de alta resolución han empezado a dar resultados convincentes. En particular, la espectroscopia permite poner de manifiesto indirectamente la presencia de planetas alrededor de estrellas vecinas midiendo el efecto gravitacional de éstos sobre sus astros principales. Hay unos diez óptimos «candidatos a sistemas planetarios», como 51 Pegasi B, 47 Ursae Majoris B o 16 Cygni B; para algunos, las medidas parecen muy fiables; para otros, en cambio, los resultados todavía son inciertos.

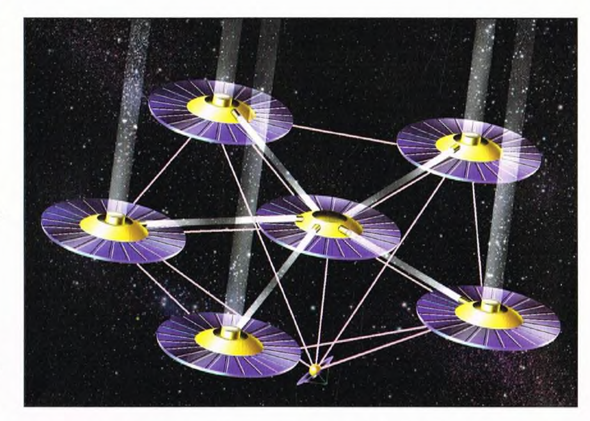
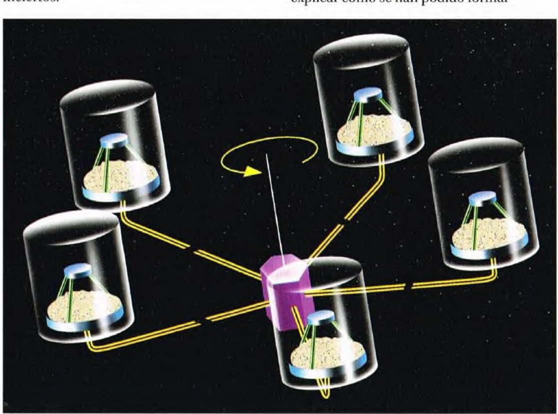


Imagen artística del conjunto de seis telescopios orbitales que constituyen el proyecto Darwin. Se prevé colocar esta estructura a unas 5 u.a. del Sol, entre las órbitas de Marte y Júpiter y más allá del cinturón de asteroides.

De todos modos, estos descubrimientos han permitido descubrir sólo planetas muy grandes y masivos, similares a Júpiter e incluso mayores, situados a distancias muy pequeñas de sus estrellas (en ciertos casos, menores que la distancia de Mercurio al Sol). La razón de estos resultados es bastante obvia: los planetas de masa pequeña o alejados de sus estrellas producen unas perturbaciones gravitacionales tan escasas que todavía están fuera del alcance de los instrumentos existentes. Estos «extraños» sistemas planetarios son objeto de estudio por parte de los teóricos, que están intentando explicar cómo se han podido formar planetas gigantes en posiciones tan interiores. Los primeros resultados sugieren que estos planetas se formaron en las regiones más exteriores de sus sistemas y luego fueron llevados hacia el interior por varios mecanismos dinámicos.

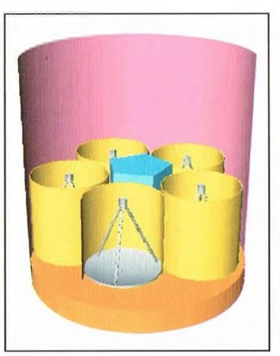
A pesar de todo, conviene subrayar que estamos todavía muy lejos de la posibilidad de descubrir planetas similares a la Tierra alrededor de otras estrellas, si bien las perspectivas para el futuro son bastante alentadoras y los proyectos en tal sentido se multiplican día a día. Es obvio que el descubrimiento de un gran número de planetas de tipo terrestre permitiría no sólo comprender mejor el proceso de formación de nuestro sistema solar sino también contemplar con mayor confianza la posibilidad de que haya otras formas de vida y otras civilizaciones inteligentes.



UN JUEGO MATEMÁTICO: LA ECUACIÓN DE DRAKE

En 1961, el astrónomo estadounidense Frank Drake, que trabajaba en el National Radio Astronomy Observatory de Green Bank (Virginia Occidental), se dedicó a estudiar la posible existencia de

A la izquierda, una posible solución para la instalación de los telescopios infrarrojos del proyecto Darwin. Cada uno de ellos está conectado a una estructura central por medio de un brazo de unos 25 m de longitud.



En la fase de lanzamiento, los seis telescopios del proyecto Darwin deberán «empaquetarse» como muestra el dibujo. Una vez en el espacio, los brazos se abrirán para posicionar correctamente los instrumentos.

EL PRINCIPIO ANTRÓPICO

El universo parece estar hecho de tal modo que pueda albergar vida inteligente. Esta consideración, más bien reciente, deriva de la constatación de que si las constantes fundamentales de la física (constante de la gravitación universal, carga del electrón, masa de las partículas elementales) y los parámetros que describen el universo en su conjunto (densidad, deceleración, etc.) fueran distintos de los valores medidos, aunque esta diferencia fuera mínima, la vida no sería posible. Esta situación puede explicarse por la casualidad, por la existencia de un proyecto superior e inaprensible que la ha determinado, o por el hecho de vivir nosotros en el único de los infinitos universos posibles compatible con la presencia de observadores inteligentes. Estos problemas se estudian en el marco del llamado «principio antrópico», que de algún modo devuelve al hombre una posición central en el cosmos.

civilizaciones extraterrestres alrededor de estrellas próximas. Drake inició un proyecto de investigación, llamado OZMA, observando con radiotelescopios dos estrellas, Tau Ceti y Épsilon Eridani, que se creía que poseían planetas. Los resultados de sus observaciones no revelaron signos de civilizaciones inteligentes, pero atrajeron la atención del mundo científico sobre esta problemática. Como consecuencia de ello, la Academia Nacional de Ciencias estadounidense admitió en 1981 que el SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence) era una disciplina científica seria, reconociendo así oficialmente el trabajo pionero de Drake. Desde entonces se han llevado a la práctica varios proyectos, con financiación pública o privada, para la búsqueda de señales radioeléctricas inteligentes procedentes del espacio. Por desgracia, todavía no se ha conseguido ningún resultado positivo.

Drake se propuso también estimar el número N de planetas de nuestra Galaxia poseedores de una civilización tecnológica suficientemente desarrollada como para permitir la comunicación con otras (por ejemplo, la nuestra).

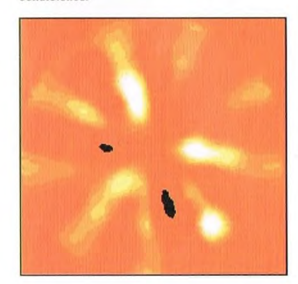
El resultado de su estudio fue la llamada ecuación de Drake, que tiene la forma siguiente: $N = R^* \times f_p \times n \times f_v \times f_i \times f_c \times T$, donde R^* es el ritmo de formación de estrellas similares al Sol, f_p es la fracción de estas estrellas que poseen sistemas planetarios, n es el número de planetas similares a la Tierra en cada sistema, f_v es la fracción de estos planetas en los cuales se ha desarrollado la vida, f_i es la fracción de planetas en que la vida se ha desarrollado de forma inteligente, f_c es la fracción de planetas capaces de comunicarse (por ejemplo, a través de la emisión de ondas radioeléctricas) y T es el tiempo de supervivencia de una civilización tecnológica.

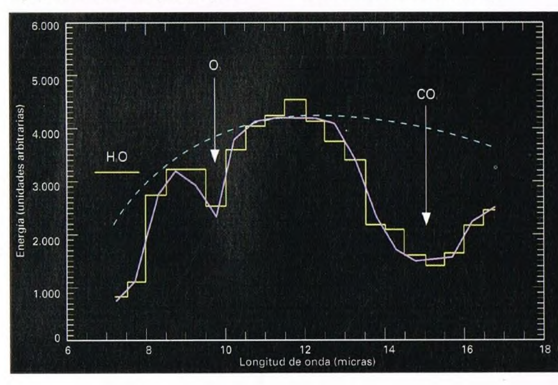


Frank Drake, el astrónomo estadounidense que con sus estudios pioneros sobre la vida extraterrestre atrajo la atención de la comunidad científica sobre este tipo de problemas.

Obviamente, los números que hay que insertar en esta fórmula son muy

Abajo, imagen simulada del aspecto de eventuales planetas tal como los detectarían los telescopios Darwin. Los tres puntos luminosos son Marte, Venus y la Tierra tal como se verían a una distancia de 10 parsecs. A la derecha, el espectro que Darwin detectaría en las mismas condiciones.







Arriba, un posible panorama visible desde un planeta extrasolar en órbita alrededor de un púlsar. Hay pruebas de la existencia de planetas, aunque no aptos para la vida, alrededor de este tipo de estrellas.

cuestionables, pues todavía dependen demasiado de criterios subjetivos. No obstante, aun realizando una estimación pesimista de los parámetros se obtiene que sólo en nuestra Galaxia podría haber al menos varias decenas de miles de civilizaciones capaces de comunicarse con el exterior.

EL PROYECTO DARWIN

El reciente descubrimiento de planetas gigantes extrasolares ha alentado la búsqueda de planetas similares a la Tierra en otros lugares de la Vía Láctea. Uno de los proyectos más ambiciosos en este sentido es el llamado Darwin, en honor del científico homónimo que explicó la evolucion de la vida en la Tierra. El programa Darwin ha sido elegido por la Agencia Espacial Europea (ESA) como uno de los dos principales proyectos de interferometría del 2000. De elegirse el proyecto entre los dos en competencia, su realización tendría lugar entre el 2010 y el 2020.

El proyecto Darwin se basa en la construcción de seis telescopios infrarrojos orbitantes de tamaño similar al del telescopio Hubble, que habría que colocar a una distancia mutua de unos 20 m. Su poder de resolución total sería equivalente al de un único telescopio de centenares de metros. Los seis telescopios operarían de modo interferométrico, según una técnica ampliamente utilizada en radioastronomía. Un instrumento tan potente podría no sólo descubrir planetas similares a la Tierra sino también estudiar su atmósfera, en busca, por ejemplo, de agua (que indicaría la existencia de océanos), así como de ozono y oxígeno, que son los signos inequívocos de la presencia de vida. La presencia simultánea de ozono y oxígeno implicaría la validez de la hipótesis de una vida basada en la química del carbono, que produce oxígeno (tal es la función de las algas de los océanos terrestres y de la vegetación de los continentes). Una atmósfera con una gran cantidad de oxígeno sólo es compatible con la existencia de numerosos seres vivos que lo producen.

El estudio se concentraría en 300 estrellas similares al Sol dentro de una distancia de 50 años luz, muchas de las cuales son observables a simple vista. Naturalmente, un instrumento de este tipo podría utilizarse también para otros objetivos astronómicos, como por ejemplo la observación de galaxias lejanísimas, por medio de la cual se podría comprender mejor su formación.

LA MISIÓN KEPLER

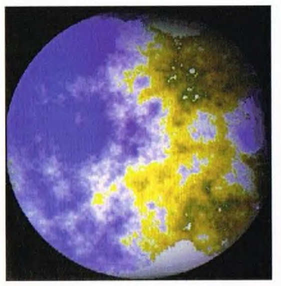
Otro proyecto, propuesto por un investigador de la NASA, es la Misión Kepler, así llamada en honor del célebre astrónomo Johannes Kepler, que a comienzos del siglo XVII describió matemáticamente las leyes que gobiernan el movimiento de los planetas del sistema solar.

El proyecto pretende determinar los siguientes parámetros:

- la frecuencia de los planetas extrasolares de tipo terrestre (o eventualmente mayores)

¿HAY ALGUIEN AHÍ?

Un simple razonamiento estadístico muestra que la vida puede estar extendida por todos los rincones del cosmos. Incluso en el supuesto de que las condiciones favorables para el desarrollo de la vida y su evolución hacia formas inteligentes sean altamente improbables, el que sólo en nuestra Galaxia haya más de cien mil millones de estrellas y que el universo contenga cientos de miles de millones de galaxias conduce a un número extremadamente grande de posibles civilizaciones evolucionadas.



Para poder albergar vida, un planeta debe poseer una atmósfera compatible con ella y agua en estado líquido. Así lo ha visto el autor del dibujo de arriba.

que se encuentren en una posición idónea para hospedar la vida (el parámetro más importante es la temperatura superficial de estos cuerpos, dado que se parte del supuesto de que el desarrollo de la vida exige la presencia de agua en estado líquido);

• el tamaño de estos planetas y su posición en sus respectivos sistemas;

• la reflectividad, las dimensiones, la masa y la densidad de los planetas gigantes que se encuentran en las regiones internas de estos sistemas;

• las propiedades de las estrellas que poseen sistemas planetarios.

Para alcanzar estos objetivos se utilizaría un fotómetro de altísima precisión capaz de medir la disminución de luminosidad que sufre una estrella cuando por delante de ella transita un planeta cuyo plano orbital está alineado con la visual desde la Tierra.

Los cálculos ponen de manifiesto que la tecnología actual ya es capaz de efectuar unas medidas de luminosidad tan precisas como éstas; se cree que la variación de medida sería de unas pocas partes en cien mil. Si estas disminuciones se repitiesen de un modo periódico, se podría estar razonablemente seguro de que son debidas al paso de un planeta.

Las estrellas seleccionadas para este tipo de investigaciones deben tener por lo menos una característica en común: su tiempo de evolución tiene que ser lo bastante largo como para permitir el lento desarrollo de la vida. Por tanto, hay que elegir estrellas no demasiado grandes, cuyo tipo espectral sea A o siguientes (F, G, etc.), porque su tiempo de evolución es de varios miles de millones de años.

¿PARA CUÁNDO LOS PRIMEROS RESULTADOS?

Es difícil pronunciarse sobre cuándo tendremos pruebas concretas de la existencia de otros planetas similares a la Tierra, pero este futuro no parece demasiado lejano. Dentro de veinte o treinta años, los progresos de la tecnología deberían ser suficientes para este tipo de descubrimiento, en el caso de que se le dediquen los fondos necesarios. Habrá que ver entonces si estos planetas existen y están extendidos por nuestra Galaxia. En caso afirmativo, se tardará todavía algún tiempo en determinar si hay en ellos indicios de vida. Por último, se necesitará algún tiempo más para averiguar si estas formas de vida son inteligentes y tienen la capacidad (y la voluntad) de comunicarse.

Esta última etapa nos abriría unos horizontes impensables y sería una especie de choque cultural para todos nosotros.

EL UNIVERSO Y SU ORIGEN

El aspecto inmutable del cielo induce a pensar que el mundo existe desde siempre, pero las observaciones realizadas por los astrónomos han llevado a discrepar de esta visión. Aunque muy lejano en el tiempo, hubo un origen del universo.

La luz procedente de las demás galaxias nos dice que éstas se están alejando de nosotros a una velocidad que crece a medida que aumenta su lejanía. Es posible explicar este fenómeno suponiendo que el universo se está expandiendo uniformemente, lo cual implica que en tiempos pasados debió de tener un tamaño menor que el actual. Si nos remontamos lo bastante atrás en el tiempo, tuvo que existir un instante en el que su tamaño se reducía a un punto.

Nuestro mundo, por tanto, ha tenido un comienzo. Pero ¿cuál ha sido la sucesión de

Abajo, La separación de las tierras y las aguas *(detalle de la bóveda de la Capilla Sixtina),* de Miguel Ángel. *En el pasado, las ideas sobre la creación del mundo estuvieron dominadas por las afirmaciones bíblicas. Hoy, las teorías científicas, muy distintas de la versión de la Biblia, no consiguen disipar la oscuridad que rodea el origen del universo, dejando un amplio margen para el debate.*



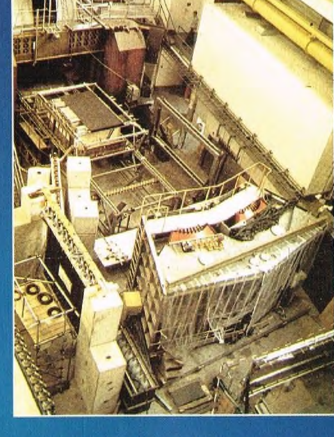
acontecimientos que ha llevado a la formación del universo tal como lo vemos hoy?

EL INSTANTE INICIAL

La teoría que prevé la existencia de un instante inicial del universo, esto es, la teoría del Big Bang, nos habla de una singularidad: afirma que en el momento en que todo empezó, todo se reducía a un punto sin dimensiones. No obstante, las teorías cuánticas, que han ido consolidándose desde los años treinta, establecen que semejante punto no puede existir: tendría más sentido decir que existe una longitud mínima por debajo de la cual hablar de distancia carece de significado. Uno de los fundamentos de tales teorías es el llamado «principio de incertidumbre», según el cual no es posible determinar con infinita precisión a la vez la velocidad y la posición de un cuerpo cualquiera; existe, por lo tanto, un límite inferior para ambas magnitudes.

La longitud mínima, que establece un límite inferior para el tamaño del universo naciente, vale 10^{-35} m y se llama «longitud de Planck».

La física de partículas elementales ha sido de gran ayuda para la cosmología, pues ha permitido caracterizar los primeros instantes del universo y los procesos que iban sucediéndose a medida que proseguía la expansión. Hoy en día, los aceleradores de gran potencia, como el del CERN de Ginebra (a la derecha), recrean procesos que tuvieron lugar en el universo primordial.





La teoría de la relatividad general de Albert Einstein ha permitido dar una primera explicación del origen del universo en términos del Big Bang, pese a que Einstein, en un primer momento, modificó las ecuaciones que había hallado para describir un mundo estático, acorde con las ideas ampliamente aceptadas en la época.

La aparición de un universo de este tamaño marca el «instante cero» a partir del cual hay que comenzar el cómputo del tiempo.

En el momento de su aparición, el universo estaba muy caliente, hasta tal punto que no podía existir ninguna forma de materia, y se cree que las cuatro fuerzas fundamentales estaban unificadas. Para comprender mejor este concepto, pensemos qué ocurre a medida que vamos calentando la materia.

Al aumentar la temperatura se suministra una energía cada vez mayor a las moléculas, que pueden así romperse en sus componentes fundamentales, los átomos. Más tarde, serán los átomos los que se dividan en sus componentes, núcleos y electrones. Luego les tocará a los núcleos, que se fragmentarán en protones y neutrones. En este proceso, no sólo las partículas se descompondrán en otras cada vez más pequeñas; también las fuerzas se unificarán, con la consiguiente desaparición de la materia en forma de radiación.

En un universo muy caliente, la materia ordinaria no podría existir; en cierto modo, se habría «evaporado» en forma de radiación.

LA RELATIVIDAD GENERAL

La teoría de la relatividad general elaborada por Albert Einstein a principios del siglo XX describe la fuerza de la gravedad como una deformación del espacio-tiempo que obliga a los cuerpos a moverse como las bolas de un billar ondulado. Las ecuaciones fundamentales de esta teoría prevén un universo dinámico, si bien al comienzo Einstein las modificó mediante un término espúreo para obtener un universo estático, pues él no creía en su movimiento. Con el descubrimiento de la expansión del universo, estas ecuaciones retomaron su forma original.



El problema del origen del universo ha fascinado siempre a la humanidad. Con la datación de los fósiles y de las rocas más antiguas se descubrió que la edad del mundo en que vivimos no podía establecerse en miles de años, como se creía en el pasado, sino en un período de tiempo mucho mayor.

La aparición del universo marcó también el comienzo de su expansión y enfriamiento.

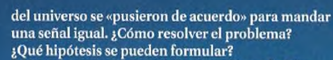
Las fuerzas, inicialmente unificadas, no tardaron en separarse; la fuerza de la gravedad fue la primera, 10^{-43} segundos después del instante cero, seguida por las demás: la fuerza nuclear fuerte, la fuerza nuclear débil y la fuerza electromagnética. Pero al hablar de expansión se presenta un problema.

LA EXPANSIÓN INFLACIONARIA

Las observaciones en la banda radioeléctrica han puesto de manifiesto la existencia de una radiación procedente uniformemente de todas las regiones del cielo y explicable como un eco cósmico de la explosión inicial que marcó el comienzo del universo en que vivimos. La peculiaridad de estas radioondas reside en el hecho de que el tiempo que necesita la luz para atravesar el universo de punta a punta, transfiriendo de este modo informaciones, es superior a la edad del universo.

Por tanto, dado que las distintas regiones del espacio no tuvieron ocasión de «intercambiarse noticias», sería de esperar que la radiación que nos llega de la profundidad del cosmos tuviera características diferentes en direcciones diferentes. Esto es válido aunque se considere el universo en tiempos más remotos, cuando su tamaño era reducido.

La casi perfecta uniformidad de la radiación de fondo nos dice inequívocamente que hubo un intercambio de informaciones y que todas las zonas



del universo se «pusieron de acuerdo» para mandar una señal igual. ¿Cómo resolver el problema? ¿Qué hipótesis se pueden formular?

Para explicar la casi perfecta uniformidad de esta radiación fósil, los astrofísicos han recurrido a una teoría llamada «de la expansión inflacionaria». Afirma ésta que el universo, inmediatamente después de formarse, conoció un período brevísimo durante el cual la expansión, en vez de seguir las leyes válidas actualmente, prosiguió aceleradamente, haciendo crecer súbitamente el tamaño del universo.

La rápida expansión del período inflacionario provocó un «estiramiento» de eventuales inhomogeneidades creadas en la estructura del universo recién formado. Se puede pensar además que las distintas regiones del espacio tuvieron inicialmente la posibilidad de intercambiar fotones; no obstante, a resultas de la expansión inflacionaria, dichas zonas quedaron muy pronto demasiado alejadas entre sí para intercambiar mensajes.

Por tanto, observamos hoy un universo que no siempre se ha expandido al mismo ritmo, sino que ha vivido un proceso de expansión acelerada. Existió un período, antes de la fase de rápido aumento del tamaño, en que los fotones pudieron recorrer el universo de punta a punta, homogeneizándolo. Tal vez esto explique por qué la radiación de fondo cósmica es tan uniforme.

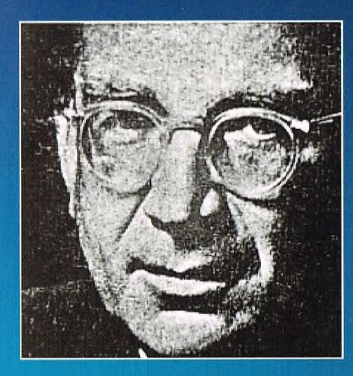
El proceso inflacionario debió de empezar a los 10^{-34} segundos después del Big Bang y terminó a los 10^{-32} segundos. El tamaño del universo quedó multiplicado por un factor $2^{100} \approx 10^{30}$.

Medidas muy precisas de la radiación de fondo realizadas por el satélite COBE han permitido detectar pequeñas inhomogeneidades.

La interacción de un rayo gamma con la materia puede producir un par partícula-antipartícula (se trata en este caso de un electrón y un positrón, esto es, un electrón con carga positiva), como se representa en el esquema de abajo. Este par, a su vez, genera un enjambre de otras partículas y de fotones. Para visualizar la interacción entre los fotones y la materia y la producción de partículas, se utilizan unos detectores especiales, como la cámara de burbujas. A la derecha se muestra la imagen producida en una de ellas. Las trayectorias curvas son producidas por partículas eléctricamente cargadas, por ejemplo electrones.









El creador de la teoría del Big Bang fue George Gamow (a la izquierda), un físico ruso que emigró a Estados Unidos.

Lo que llevó a la idea de un universo en expansión fue la observación del sistemático alejamiento de las galaxias más distantes (a la derecha). El descubrimiento recibió luego explicación en el marco de la relatividad general.

En las estrellas tienen lugar procesos de fusión nuclear que modifican la composición química del universo (abajo). Uno de los éxitos de las teorías cosmológicas consiste en haber predicho con suficiente precisión los porcentajes de los distintos elementos constitutivos del universo primitivo.

También este fenómeno se puede explicar mediante las teorías cuánticas, que prevén pequeñas fluctuaciones de la radiación de fondo, como sucede en otros muchos procesos.

EL PROBLEMA DE LA DENSIDAD

Hay otro problema, explicable mediante la teoría inflacionaria, que tiene que ver con la densidad de materia. La teoría de la relatividad general permite predecir el destino del universo a partir de la densidad de materia que contiene.

Si esta densidad es inferior a un determinado valor crítico, el universo está destinado a expandirse para siempre a pesar de la acción de la fuerza de la gravedad, que frena el aumento de tamaño a través de la atracción mutua entre objetos masivos.

Si, por el contrario, la densidad supera dicho valor crítico, prevalecerá la fuerza de la gravedad y el universo terminará su expansión y se contraerá hasta alcanzar un estado denominado Big Crunch, un gigantesco colapso colectivo.

Los datos de observación indican que la densidad del universo es actualmente próxima al valor crítico. Pero muchas teorías predicen que la mínima desviación inicial respecto a tal valor se habría ido amplificando y hoy sería fácilmente observable.

Para reproducir los datos observados hay que suponer que inicialmente la densidad difería de la crítica en una parte en 10^{60}, una cantidad insignificante. Afortunadamente, la teoría de la expansión inflacionaria predice que con el mecanismo de la inflación la densidad debe ser próxima a la crítica.



EL NACIMIENTO DE LA MATERIA

A medida que se iba expandiendo el universo, se reducía su temperatura. Llegó así un momento en que pudieron formarse las primeras partículas constitutivas de la materia. Pero para toda partícula que se formaba nacía también una antipartícula, un corpúsculo exactamente igual al primero pero de carga eléctrica opuesta. Como las cargas de signo opuesto se atraen, las partículas y las antipartículas se fueron aniquilando mutuamente, generando fotones en el proceso.

Las primeras partículas que se formaron fueron los quarks y los antiquarks, que constituyen los protones y los neutrones.

Todavía no está del todo claro cómo ocurrió esto, pues en un momento determinado tuvo que romperse la perfecta simetría entre materia y antimateria a favor de la primera, que pasó a dominar el universo. Normalmente, las partículas y las antipartículas se crean por pares, por lo cual no parece posible que haya un exceso de materia o de antimateria.



El satélite COBE (a la izquierda) ha sido muy útil para estudiar la radiación fósil que nos llega como un eco lejano del Big Bang. Este ingenio ha permitido estudiar la casi perfecta homogeneidad de dicha radiación procedente de cualquier dirección del cosmos y confirmar las más avanzadas teorías cosmológicas.

FORMACIÓN DE LOS ELEMENTOS

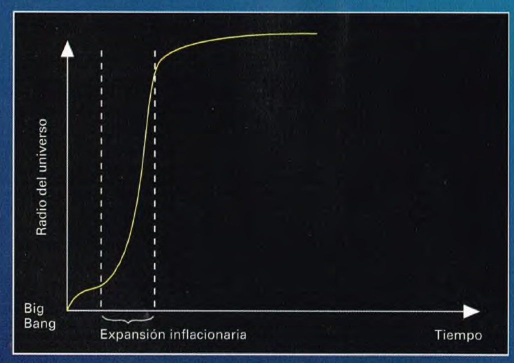
A medida que continuaba la expansión, la temperatura seguía disminuyendo. Llegó por fin un punto en que las partículas pudieron unirse para formar átomos. El instante en que se formaron los primeros átomos neutros fue importante porque la materia se volvió transparente a la radiación. Antes de ese momento, los fotones chocaban con partículas aisladas y salían dispersados.

Naturalmente, sólo pudieron formarse los átomos más simples, los de hidrógeno y, por medio de sucesivas reacciones nucleares, los de helio.

Las teorías modernas predicen que el universo primordial estaba formado casi exclusivamente de hidrógeno y helio, con una pequeña cantidad de litio, según proporciones bien precisas: aproximadamente un átomo de helio por cada ocho átomos de hidrógeno.

Las observaciones realizadas acerca de la composición actual del universo confirman tales proporciones, si bien hoy en día los valores han sido alterados por la producción de helio y de elementos más pesados a partir del hidrógeno dentro de las estrellas.

La teoría del universo inflacionario introduce un breve período en el cual el universo se expandió rápidamente, doblando su tamaño a intervalos de tiempo iguales. Al término de este período la expansión volvió a ritmos más lentos dominados por la gravedad, que frena el proceso.



EL UNIVERSO ESTACIONARIO

En oposición a la teoría del Big Bang, que predice un instante inicial para el universo, la teoría del universo estacionario afirma que éste tiene unas propiedades que no varían con el tiempo. La teoría fue elaborada cuando se creía que el universo era homogéneo, con una densidad de galaxias que se mantenía casi constante. Para explicar el fenómeno, desmentido por observaciones más precisas, la teoría predecía una creación continua de materia. Numerosos datos de observación obligaron a abandonar esta teoría en favor de la del Big Bang, aunque en años recientes algunos científicos han vuelto a poner sobre el tapete algunas ideas relacionadas con la hipótesis de un universo estacionario.

ORIGEN DE LAS GALAXIAS

Una vez formados los elementos primordiales, nada nuevo ocurrió durante mucho tiempo. La expansión y el enfriamiento prosiguieron hasta que la materia empezó a agruparse para formar las estrellas y las estructuras más complejas que podemos observar hoy.

No obstante, si bien es fácil teorizar la formación de una estrella a partir de una nube de gas y polvo cósmico, no sucede lo mismo con el nacimiento de un cúmulo de galaxias, que es el objeto más masivo que existe.

La cuestión básica que se plantea es la siguiente: ¿nacieron primero las galaxias individuales, que luego se agruparon en cúmulos, o se formó primero una condensación de materia que creó el cúmulo desde un comienzo? Por desgracia, no disponemos todavía de respuesta segura a esta pregunta. Se han formulado al respecto dos teorías principales. La primera afirma que se formaron primero unas estructuras filamentosas que luego colapsaron y formaron galaxias individuales; la memoria de las estructuras primordiales se habría mantenido en la disposición de los cúmulos a formar cadenas de galaxias.

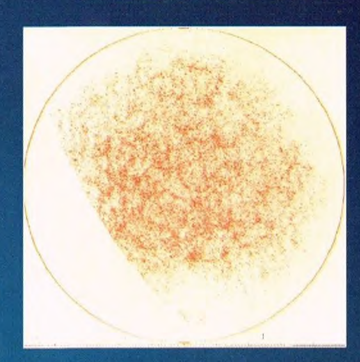
La segunda teoría, por el contrario, prevé la formación de agrupaciones de estrellas de tamaño inferior al galáctico; estos supercúmulos de estrellas se habrían unido para formar las galaxias y después, en un segundo tiempo, los cúmulos de galaxias.

En los dos casos se plantea el problema del origen de concentraciones de materia capaces de producir objetos tan masivos como las estrellas, las galaxias y los cúmulos de galaxias. También aquí acude en nuestra ayuda la teoría cuántica. Las pequeñas inhomogeneidades que observamos en la radiación cósmica de fondo no serían otra cosa que huellas dejadas por pequeñas perturbaciones iniciales de densidad que luego habrían llevado a la formación de objetos mucho más pesados, como los que podemos observar en el universo actual.



Transportando nuestra mirada hacia el espacio lejano, como ha hecho el telescopio Hubble al tomar la fotografía de la izquierda, podremos dar respuesta a algunas preguntas sobre la formación del universo y de los objetos que contiene.

La estructura a gran escala del universo depende de las pequeñas inhomogeneidades que se produjeron pocos instantes después del Big Bang (a la derecha) y que determinaron la formación de los objetos más masivos presentes hoy en las profundidades del espacio sideral.



El futuro del universo depende de la densidad de materia que contiene (abajo). Si ésta es lo bastante alta, el universo está destinado a detener su expansión y contraerse en un Big Crunch; de lo contrario, seguirá expandiéndose indefinidamente. Las observaciones realizadas parecen indicar que la densidad es muy próxima al valor crítico que separa ambos casos. La teoría del universo inflacionario establece que la densidad debe ser igual a este valor.

¿QUÉ HABÍA ANTES DEL BIG BANG?

La teoría del Big Bang, unida a la de la expansión inflacionaria, nos permite explicar satisfactoriamente algunos datos de observación, como la presencia de una radiación fósil con determinadas propiedades de homogeneidad, la proporción de hidrógeno y helio, y la densidad de materia del universo. Además, dicha teoría satisface las ecuaciones de una de las teorías más eficaces que la mente humana ha concebido: la relatividad general. Por último, establece la existencia de un comienzo de todo, pero al hacerlo suscita una pregunta: ¿había algo «antes»? Y en caso de respuesta afirmativa, ¿qué era?

Responder a esta pregunta es imposible. Una de las respuestas que podrían darse es que, al iniciarse el universo con el Big Bang, no tiene sentido hablar de un «antes», sólo de un «después». Sin embargo, recientes teorías exploran la posibilidad de que un universo, como aquel en que nos hallamos, pueda formarse dentro de otro creando una jerarquía de mundos contenidos unos en otros e inaccesibles entre sí. Precisamente en dicha inaccesibilidad reside la imposibilidad de verificar esta sugestiva hipótesis. También en nuestro universo podrían estar formándose otros, aunque nosotros no podríamos certificar su existencia porque estarían desconectados del nuestro y serían inobservables con cualquier tipo de instrumento. Desde este punto de vista, habríamos nacido «dentro» de otro universo, el cual a su vez podría haber nacido en otro, y así sucesivamente.

Pese a todo lo anterior, se puede intentar dar una respuesta, siquiera parcial, al problema de saber qué pudo haber dado origen al universo.

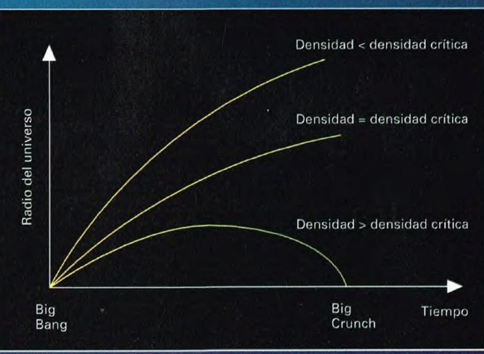
Ya hemos dicho que las teorías cuánticas se basan en el principio de incertidumbre. Una formulación de este principio, equivalente a la dada anteriormente, establece que no es posible medir con una precisión absoluta la energía de un sistema, ya se trate de una partícula o del universo entero.

La incertidumbre relativa a la energía del sistema está relacionada con la duración del propio sistema; cuanto más precisamente conozcamos la energía del sistema, tanto más durará éste. Este principio permite la continua creación de sistemas efímeros, como son los pares de partículas y antipartículas, que tienen una vida brevísima.

Una posible interpretación de las teorías cuánticas postula que nuestro universo no es otra cosa que el fruto de una de estas fluctuaciones de energía, con una duración larguísima, probablemente infinita. La razón de la vida eterna del universo residiría en el hecho de que éste tendría una energía total exactamente igual a cero. Por extraño que esto pudiera parecer, el supuesto no es infundado, ya que la fuerza de la gravedad es una fuente de energía de signo negativo.

En consecuencia, el universo pudo haberse creado de la nada.

Pese a todos estos desarrollos teóricos y observacionales, la pregunta fundamental acerca de dónde venimos permanece sin respuesta. Es posible que esta curiosidad tan profundamente humana quede para siempre insatisfecha.



EL NOMBRE DE LAS CONSTELACIONES

Muchas constelaciones tienen orígenes remotos y sus nombres se remontan a la Antigüedad. Otras, en cambio, fueron introducidas en épocas más recientes y sus nombres pueden parecernos extraños.



Las constelaciones del hemisferio norte, la mayor parte de las cuales se remontan a hace más de 4.000 años, nos fueron legadas por los griegos, que las asociaron a personajes de su mitología. Éste es el motivo por el cual reciben nombres de héroes griegos y están ligadas a leyendas clásicas.



Si observamos el cielo a simple vista en una noche clara, a ser posible sin luna y lejos de las luces de las ciudades, podremos ver una gran cantidad de astros que brillan con distintas luminosidades. Casi sin darnos cuenta, nuestros ojos empezarán a asociar los más brillantes en grupos; involuntariamente, crearemos un sistema propio de constelaciones, formado por agrupaciones de estrellas que probablemente coincidirán sólo parcialmente con las oficiales.

Lo que cada uno de nosotros puede hacer por diversión recrea en realidad un proceso que comenzó hace muchos siglos, cuando los primeros astrónomos empezaron a escrutar la bóveda celeste para establecer su periodicidad y deducir auspicios para el futuro. La necesidad de disponer de un sistema de referencia dio origen a las constelaciones, que fueron codificadas en épocas bastante distantes de la nuestra.

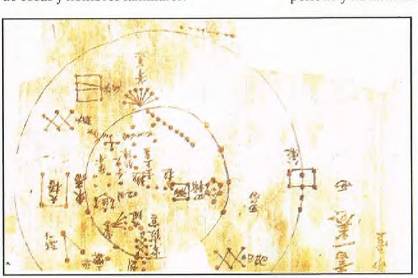
Una segunda causa de la generación de un sistema de constelaciones reside probablemente en el deseo innato de «humanizar» cualquier medio, poblándolo de cosas y nombres familiares.

Naturalmente, en este proceso no se vieron involucradas al principio todas las estrellas visibles en el cielo, sino sólo las que eran observables desde las latitudes en que vivían los observadores a los que se debe la creación de las primeras constelaciones.

LAS CONSTELACIONES HISTÓRICAS

La mayoría de los nombres de las constelaciones más antiguas son de origen griego. Se remontan a esta civilización las primeras noticias sobre agrupaciones estelares, si bien con anterioridad algunos pueblos mesopotámicos habían codificado ya las constelaciones que luego conocerían los griegos.

El primero en hablar de constelaciones fue Arato, que vivió en el siglo III a.C. Sin embargo, las constelaciones que describe no pertenecen a la parte de la esfera celeste observable desde las latitudes y durante el período en que vivió. De la distribución de las constelaciones descritas por Arato se deduce que fueron introducidas un par de milenios antes por un pueblo que vivió a una latitud de unos 35° N. La única civilización que se desarrolló en tal período y tal latitud fue la de los acadios, que vivieron en Mesopotamia. Ésta debe de ser, por tanto, la población que creó las constelaciones que luego pasaron a los griegos. Da apoyo a dicha teoría el hallazgo de algunas tablillas mesopotámicas en las que figuran las constelaciones de Arato.



Detalle de un antiguo mapa chino (de alrededor del 700 d.C.), conservado en parte en China y en parte en el Museo Británico de Londres.

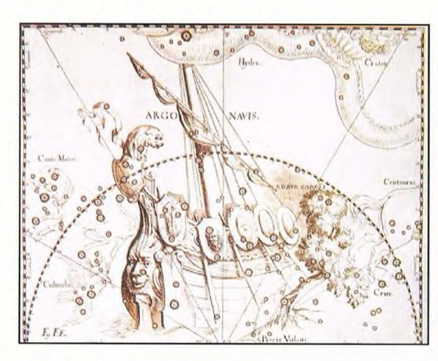
Probablemente, las constelaciones acádicas estaban ligadas a personajes de la mitología local; más tarde pasaron a la civilización minoica, extendida por el Mediterráneo oriental. Este paso llevó a la sustitución de los nombres y personajes ligados a las constelaciones. Así, pasando de un pueblo a otro, se produjo el enlace con las leyendas de la mitología clásica.

Algunas constelaciones forman auténticas familias celestes. Un claro ejemplo en este sentido es el de las constelaciones de Casiopea, Cefeo, Andrómeda, Pegaso, Perseo y la Ballena, relacionadas con el mito de Perseo y Andrómeda. La función de tales relaciones a través de los mitos consistía en facilitar la memorización del lugar de las constelaciones en la esfera celeste, ya que se agrupaban en la misma familia constelaciones situadas en la misma región del cielo.

Existe también el caso de las constelaciones de Capricornio, Acuario, Piscis y la propia Ballena, en las que todos los componentes, pese a no estar vinculados a un único mito, tienen en común su relación con el agua. No se trata de una casualidad, ya que estas constelaciones ocupan la región del cielo conocida antiguamente como «aguas celestes», probablemente porque el Sol visitaba esta zona de la bóveda celeste durante la estación de las lluvias.

UNA CURIOSA COINCIDENCIA

Naturalmente, lo que vale para las constelaciones creadas por civilizaciones occidentales o del Próximo Oriente deja de valer para las que nacieron en otras partes



La Nave Argos (a la izquierda) fue desmembrada en el siglo XVIII por el abate francés Lacaille para dar cabida a cuatro constelaciones más pequeñas.

del mundo, como China o América. Los pueblos que vivían en dichas regiones identificaron distintas constelaciones y les asignaron nombres diferentes.

Hay, sin embargo, un caso curioso que tiene que ver con la constelación de la Osa Mayor. Pese a lo desproporcionado de la cola, fue identificada con una osa tanto por los griegos como por las tribus indias de Norteamérica. Naturalmente, no podemos deducir de ello que las dos civilizaciones entraran alguna vez en contacto. Se trata más bien de una coincidencia.

CONSTELACIONES DE OTROS PUEBLOS

Como ya se ha dicho, el proceso que lleva a la formación de las constelaciones no es unívoco: pueblos distintos pueden crear constelaciones distintas.

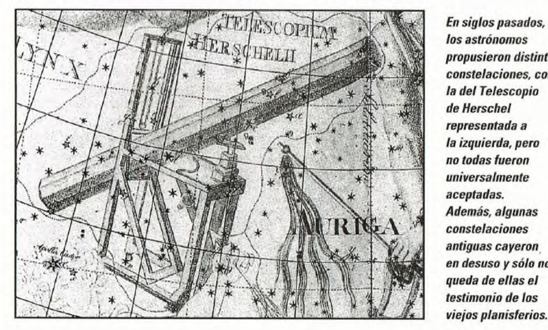
Así ocurrió, por ejemplo, con los chinos. El cielo chino contiene muchas más constelaciones que el nuestro; el número de constelaciones chinas rebasa con mucho los dos centenares. La razón estriba en que los chinos consideraban constelaciones más pequeñas que las de los pueblos del mundo occidental: las suyas tenían a veces poquísimas estrellas. Esto se refleja también en los nombres, más numerosos y variados, que incluyen no sólo animales (reales o imaginarios) sino también personalidades del Celeste Imperio.

LAS CONSTELACIONES MODERNAS

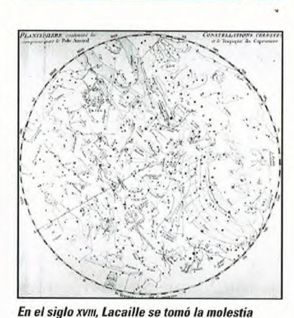
La parte del cielo observable desde latitudes más meridionales que aquellas en que vivieron los pueblos que crearon las constelaciones más antiguas fue tomada en consideración desde finales de la Edad Media, con los primeros viajes por mar. Entonces hicieron su aparición nuevas constelaciones, a veces bautizadas con nombres inquietantes.

El astrónomo que más influyó en la creación de nuevas constelaciones fue sin duda el abate francés Lacaille.

A él se debe la introducción de 14 constelaciones, entre las cuales figuran el Horno, u Horno Químico, el Caballete del Pintor, o simplemente Pintor, el Escultor, la Máquina Neumática, el Microscopio y el Telescopio.



En siglos pasados, los astrónomos propusieron distintas constelaciones, como la del Telescopio de Herschel representada a la izquierda, pero no todas fueron universalmente aceptadas. Además, algunas constelaciones antiguas cayeron en desuso y sólo nos queda de ellas el testimonio de los viejos planisferios.



En el siglo XVIII, Lacaille se tomó la molestia de colmar las lagunas del cielo meridional poblándolo de constelaciones cuyos nombres celebran las obras del ingenio humano.

Evidentemente, el propósito de Lacaille era celebrar las obras del ingenio humano.

Antes que él, otros astrónomos habían creado nuevas constelaciones en el hemisferio boreal, como la Paloma o el Unicornio, descritas por primera vez por el holandés Plancio.

Las posibilidades de reconocer en las constelaciones la forma de las figuras asociadas, escasas en las más antiguas, son nulas en las modernas, ya que la mayor parte de ellas consta de estrellas muy poco luminosas; su introducción ha servido sólo para llenar los vacíos dejados por otras constelaciones.

LAS CONSTELACIONES ABANDONADAS

El proceso de creación de las constelaciones no fue sencillo.

Las constelaciones hoy aceptadas son el resultado de un proceso que ha requerido siglos y que ha llevado al abandono de muchas, caídas en desuso o nunca utilizadas.

Bastantes constelaciones propuestas por astrónomos nunca fueron aceptadas por la comunidad de estudiosos. A menudo se intentaba honrar al propio soberano introduciendo una constelación que lo recordara para siempre, como sucedió con el Roble de Jorge, inventado por el astrónomo inglés Halley en honor del rey Jorge II.

Otras constelaciones, pese a su origen antiguo, cayeron en desuso. El caso más conocido es tal vez el de la Nave Argos, una imponente agrupación de estrellas situada en el hemisferio meridional. Esta constelación fue desmembrada en cuatro más pequeñas, la Quilla, la Popa, la Vela y la Brújula, porque su tamaño la hacía poco útil como referencia.

SISTEMAS DE REFERENCIA

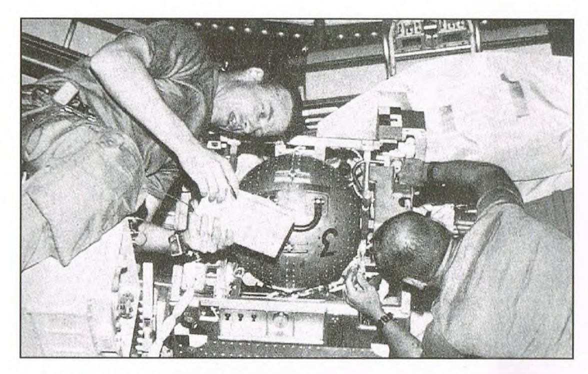
Cuando nos encontramos en un tren o a bordo de un avión en movimiento, las trayectorias de los demás objetos móviles quedan distorsionadas por la combinación de dos movimientos: el nuestro y el del objeto que estamos observando. Por consiguiente, no tiene sentido hablar de movimiento absoluto: todo movimiento lo es con respecto a un sistema de referencia.



Todos hemos caminado alguna vez bajo la lluvia o la nieve. En tales circunstancias, para protegerse más eficazmente de las precipitaciones conviene, si no sopla el viento, inclinar el paraguas hacia delante. Si nos detenemos, observaremos que la lluvia o la nieve cae verticalmente. ¿Por qué debemos cambiar la posición del paraguas al movernos? Porque cuando estamos en movimiento debemos tener en cuenta nuestra velocidad, que nos lleva al encuentro de la lluvia que cae; invirtiendo el punto de vista, veremos que la lluvia va a nuestro encuentro cuando caminamos. En ambos casos, la trayectoria resultante corresponde a una línea inclinada respecto a la vertical.

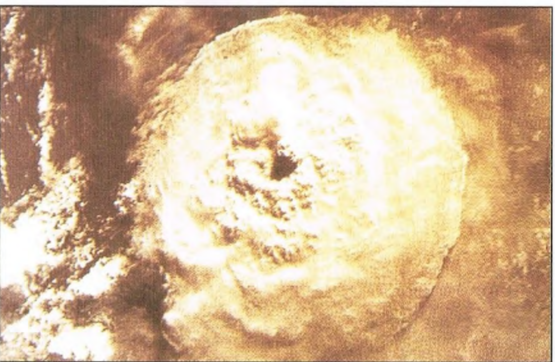
Las trayectorias, por tanto, no poseen características absolutas sino que dependen del sistema de referencia desde el cual se observan: para el árbol anclado en la tierra, la lluvia cae perpendicularmente al terreno; para nosotros que caminamos, lo hace oblicuamente. Carece de sentido hablar de movimiento en términos absolutos. Hay que especificar respecto a qué estamos considerando el movimiento. Por tanto, hay que establecer un sistema de observación que nos permita calcular la velocidad del objeto que estamos observando.

En el tiovivo experimentamos una fuerza ficticia, la fuerza centrífuga. La única fuerza a la que realmente estamos sujetos es la de la gravedad. El empuje hacia el exterior que sentimos deriva de nuestra inercia, esto es, de la tendencia de todo cuerpo a moverse rectilínea y uniformemente.



Las bases espaciales constituyen sistemas de referencia localmente inerciales. Al orbitar en torno a la Tierra, se mueven como si estuviesen en caída libre, pues no las sostiene ningún medio material. Por tanto, los cuerpos que contienen no están sometidos a ninguna fuerza, ni siquiera a la de la gravedad, por lo que permiten realizar importantes experimentos de dinámica en ausencia de fuerzas.

Las depresiones ciclónicas atmosféricas (abajo) atraen masas de aire que empiezan a girar a causa de una fuerza aparente, la fuerza de Coriolis, debida a la rotación terrestre.



Veamos ahora un ejemplo análogo al anterior. Supongamos que nos encontramos en un tren que viaja a velocidad constante a lo largo de un tramo rectilíneo de vía; la lluvia o la nieve parece moverse a lo largo de líneas más o menos inclinadas según que la velocidad con que se mueve el tren sea más o menos elevada.

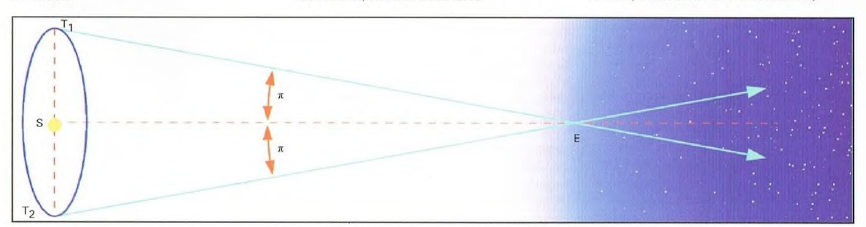
SISTEMAS ACELERADOS

Supongamos ahora que el tren frena porque está acercándose a una estación en la que debe detenerse. La trayectoria de los copos de nieve o de las gotas de lluvia dejará de ser rectilínea y empezará a curvarse. La curvatura será tanto más acentuada cuanto mayor sea la deceleración del tren. Al mismo tiempo, experimentaremos un empuje dirigido hacia delante tanto más intenso cuanto más brusca sea la frenada.

El fenómeno parece sorprendente: nosotros sólo estamos sujetos a la fuerza de la gravedad, pero parece como si hubiera algo que nos impulsa hacia delante. ¿Cómo explicar la aparición de una nueva fuerza?

Los físicos han resuelto esta paradoja suponiendo que los cuerpos, en ausencia de fuerzas, tienden a moverse naturalmente a lo largo de trayectorias rectilíneas y a velocidad constante. Mientras el tren en el que estamos viajando se mueve a lo largo de un tramo rectilíneo y no cambia de velocidad, nosotros nos movemos con él y sólo advertimos la fuerza de la gravedad. En cambio, cuando el tren acelera, decelera o recorre una curva,

El movimiento anual de la Tierra en torno al Sol se refleja en un aparente movimiento especular de las estrellas en la bóveda celeste. Dicho movimiento es tanto más acentuado cuanto más cerca están las estrellas. El radio angular de la elipse descrita por una estrella en un año, llamado paralaje, mide la distancia de la estrella a nosotros.





Las estrellas de una galaxia no están en posiciones fijas sino que orbitan en torno al centro del sistema estelar. Lo mismo vale para el Sol y la Tierra, que también giran a su alrededor. Debemos tener en cuenta este movimiento cuando medimos la velocidad de los astros respecto a la Tierra.

percibimos esta variación de la velocidad del tren, pues tendemos a movernos siempre en la misma dirección a velocidad constante. Es como si quisiéramos proseguir en línea recta con la misma velocidad, por lo que tendemos a movernos «independientemente» del tren.

Los sistemas de referencia, por consiguiente, pueden dividirse en dos grandes clases: aquellos en los cuales los cuerpos no sujetos a fuerzas se mueven con velocidad constante, y aquellos en los cuales este hecho deja de ser válido. Técnicamente se habla de sistemas inerciales en el primer caso y de sistemas no inerciales en el segundo.

Un ejemplo de sistema inercial viene dado por un observador en reposo o que se encuentre en un tren que viaja a velocidad constante; dicho observador puede explicar la trayectoria de los objetos de un modo simple, porque éstos están sujetos únicamente a la fuerza de la gravedad.

Un ejemplo de sistema no inercial es un tren que toma una curva; un observador que se encuentre en dicho sistema deberá invocar la existencia de una fuerza suplementaria, la fuerza centrífuga, para explicar la tendencia de los cuerpos a moverse en dirección lateral.

LA TIERRA

De acuerdo con nuestra experiencia cotidiana, la Tierra, el planeta en que vivimos, parece un óptimo sistema de referencia, pero en realidad las cosas no son exactamente así.

Sabemos que la Tierra gira sobre sí misma, por lo que no es un sistema inercial. Existe una serie de fenómenos más o menos aparentes que lo confirman: el remolino que se forma cuando quitamos el tapón del lavabo, la creación de remolinos ciclónicos y anticiclónicos en la atmósfera, el movimiento de precesión de un péndulo y la caída oblicua de graves en ausencia de viento.

Por tanto, cuando realizamos observaciones sobre el movimiento de objetos terrestres o celestes, debemos tener en cuenta que nos encontramos sobre un cuerpo en movimiento y que este movimiento lo convierte en un sistema de referencia no inercial.

Pero surge un problema: ¿qué nos autoriza a afirmar que la Tierra no es un sistema inercial? O mejor, ¿respecto a qué está girando la Tierra? ¿Existe algún sistema de referencia absoluto?

La teoría de la relatividad general afirma que no es posible encontrar un sistema de referencia absoluto y que todos los sistemas son en cierto modo equivalentes. La misma teoría afirma además que el espacio es deformado por la presencia de cuerpos masivos análogamente a como una tela es deformada por un peso apoyado en ella. Es la presencia de galaxias en el universo lo que permite afirmar que la Tierra está girando respecto a este sistema de masas y lo que hace posible advertir los efectos de dicha rotación. Si existiera sólo nuestro planeta en todo el universo, no tendría sentido hablar de rotación terrestre y no podríamos ver ningún efecto de tal presunto movimiento.

OTROS MOVIMIENTOS

Pero la Tierra no se limita a girar sobre sí misma; también posee otros movimientos.

El más importante, después del de rotación, es el movimiento de traslación alrededor del Sol. Para hacerse una idea de cuáles son las velocidades en juego bastará decir que un observador situado en el ecuador, en razón de la rotación terrestre, posee una velocidad de 0,5 km/s, mientras que la Tierra se mueve a una velocidad de 60 km/s, aproximadamente, a lo largo de su órbita alrededor del Sol.

En realidad existe también otro movimiento debido a que todo el sistema solar se está moviendo alrededor del centro de la Vía Láctea, nuestra Galaxia, con una velocidad de unos 200 km/s.

Por consiguiente, un observador situado en la Tierra debe tener en cuenta que no se encuentra en un sistema de referencia ideal, sino en un lugar de observación sujeto a movimientos complicados.

SISTEMAS DE REFERENCIA ASTRONÓMICOS

La comunidad de los astrónomos ha ido buscando los sistemas de referencia mejor adaptados a sus problemas.

La observación de las posiciones de las estrellas desde la Tierra está influida por dos fenómenos: la aberración y la paralaje.

El primero es debido a que, a causa de la rotación terrestre, la dirección de la

Galileo fue el primero en introducir los conceptos de relatividad del movimiento y de sistema de referencia inercial.





Un avión en vuelo es un sistema de referencia en movimiento respecto a la Tierra. Para asegurar la sustentación, es decir, el empuje hacia arriba, el piloto debe tener en cuenta la velocidad del aparato respecto al aire, que constituye un sistema de referencia más importante que el terreno.

que proceden los rayos luminosos se curva levemente, igual que sucede con las gotas de lluvia que caen mientras nos movemos.

El segundo consiste en que las estrellas más próximas parecen describir pequeñas elipses sobre el fondo de las más distantes; estas elipses son la proyección de la órbita terrestre. Lo que sucede es similar a lo que observamos mientras nos desplazamos sobre la Tierra: los objetos próximos parecen moverse sobre el fondo de los más lejanos. Este fenómeno ha sido de gran utilidad, ya que una vez determinadas las dimensiones de la órbita terrestre se puede calcular la distancia de las estrellas cuya paralaje anual es conocida.

Estos efectos deben aislarse para poder averiguar la posición exacta de los astros a nuestro alrededor.

En realidad, las cosas son todavía más complicadas, pues el Sol no se limita a girar alrededor del centro de la Galaxia sino que también posee un movimiento propio respecto a la media de las estrellas que lo rodean. Dicho movimiento se refleja en una velocidad que hay que sumar a la de todas las estrellas. Para eliminar sus efectos, los astrónomos han realizado medidas precisas del movimiento de las estrellas próximas, después de lo cual han promediado sus velocidades para que permanezca sólo dicha velocidad peculiar. Una vez calculada, se puede restar de la velocidad de todas las estrellas. Este sistema se denomina «sistema estándar de reposo local» (en inglés LSR = Local Standard of Rest).

EL MOVIMIENTO DE LA GALAXIA

El sistema de referencia que acabamos de describir es adecuado para observar los movimientos locales de las estrellas. Sin embargo, normalmente habrá que elegir otros sistemas a medida que vayamos incorporando estrellas más lejanas u objetos extragalácticos. Podemos ir más allá todavía y preguntar si es posible encontrar un sistema lo bastante general, a partir del cual medir el movimiento «absoluto» de la Tierra.

Lo dicho no debe parecer contrario a los dictámenes de la teoría de la relatividad general, porque de todas maneras nos referiremos a un sistema muy preciso.

Antes de afrontar el problema, conviene recordar que todas las galaxias, incluida la Vía Láctea, están en movimiento porque así lo exige la expansión del universo. Existen luego movimientos locales, más o menos como el del Sol dentro de nuestra Galaxia. Tales movimientos son debidos a que las galaxias se reúnen en familias, llamadas cúmulos y supercúmulos, y a que los movimientos dentro de estos grupos de objetos están determinados por la distribución de materia. Si se producen concentraciones, las demás galaxias serán atraídas más fuertemente por estas zonas más densas. Esto es lo que sucede con el cúmulo del que forma parte la Vía Láctea. De los movimientos de las galaxias próximas se puede deducir que nos estamos moviendo dentro del cúmulo al que pertenecemos junto a nuestra isla de estrellas.

¿Cuál es, entonces, el mejor sistema de referencia desde el cual medir todos los movimientos? Los astrónomos creen que el mejor candidato es la radiación de fondo, el eco del Big Bang que dio origen al universo. Se trata de una señal que procede uniformemente de todas las direcciones del cosmos; se puede determinar la velocidad de la Tierra respecto a esta radiación midiendo, por ejemplo, la intensidad de estas radioondas en distintas direcciones o calculando las correspondientes temperaturas por análisis del espectro en distintas regiones del cielo. Si la Tierra se mueve respecto a la radiación fósil, la intensidad de ésta diferirá según que la midamos en la dirección de nuestro movimiento o en la dirección contraria. Lo mismo vale para la temperatura que se puede deducir del espectro de fondo cósmico de microondas.

Recientes medidas han tratado de determinar la velocidad de la Tierra respecto a la radiación de microondas fósil, pero su complejidad hace inciertos los resultados. El problema de determinar el movimiento absoluto de la Tierra sigue abierto.



SISTEMAS DE REFERENCIA

Observemos la caída de las gotas de lluvia mientras viajamos en automóvil. Veremos que no parecen caer perpendicularmente al terreno; su trayectoria estará inclinada de un modo tanto más acentuado cuanto mayor sea nuestra velocidad.
Podemos experimentar la existencia de fuerzas ficticias, como la fuerza centrífuga, cuando un automóvil describe una curva: advertiremos un empuje hacia el exterior debido a nuestra tendencia a movernos a lo largo de líneas rectas.



DEL X-33 AL VENTURESTAR

El transbordador espacial ha revolucionado el modo como Estados Unidos ha afrontado las investigaciones espaciales en los veinte últimos años. Pero están a punto de entrar en escena nuevos vehículos que lo volverán obsoleto.



Desciende como una astronave extraterrestre en una sugestiva película de los años cincuenta. A pocas decenas de metros del suelo, salen cuatro patas de la parte inferior; entre bocanadas de humo y fuego, el vehículo se posa suavemente sobre una pequeña plaza del White Sand Missile Range, en Nuevo México (Estados Unidos), un lugar que evoca un ambiente tecnológico de ciencia ficción. Aquí se realizaron los primeros experimentos atómicos estadounidenses; hoy, en bunkers bien protegidos, se experimentan innovaciones y productos tecnológicos ni siquiera imaginados en otras partes de la Tierra.

LA ASTRONAVE DEL SIGLO XXI

Uno de estos productos es la astronave del siglo XXI, denominada Delta Clipper (DC-X), construida por la McDonnell Douglas. Se trata de uno de los prototipos de una nueva clase de cohetes que podrían convertirse muy pronto en auténticos aviones del espacio y que permitirán reducir un 90% o más los costes del transporte al espacio de mercancías y personas. El DC-X es un cono formado por materiales ligerísimos pero extremadamente resistentes, de 12 m de altura y 4,5 m de anchura, que ya ha volado varias veces simulando operaciones en el espacio o aterrizajes en aeropuertos. En el último vuelo, el DC-X sufrió una fuerte explosión a bordo y quedó casi totalmente destruido. De todas formas, era simplemente un modelo a escala del X-33, una verdadera astronave, de unos 40 m de altura, capaz de alzarse del suelo, entrar en órbita terrestre sin tener que soltar partes de sí misma en ruta y aterrizar sobre su parte posterior por medio de retrocohetes. A diferencia del transbordador, el X-33 no habría necesitado una sofisticada rampa de lanzamiento ni una larga pista de aterrizaje; habría bastado una pequeña plaza de hormigón armado de unos 60 m de diámetro y un hangar destinado a llenar los depósitos de hidrógeno y oxígeno. Durante el vuelo, el X-33 habría sido guiado por el Global Positioning System, un grupo de satélites ya presentes alrededor de la Tierra, capaces de conducir con extrema precisión cualquier objeto en movimiento sobre la Tierra o en el espacio. El X-33 habría debido convertirse a todos los efectos en un auténtico «avión de línea» del espacio.



Imagen pictórica del X-33, prototipo de vehículo reutilizable de una sola fase, propuesto a la NASA por la Lockheed Martin.

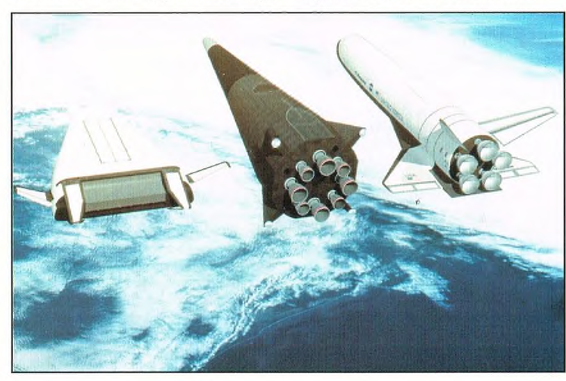


El X-33, prototipo de demostración del VentureStar, tiene una longitud de unos 20 m, despega verticalmente como un cohete y aterriza horizontalmente como un avión.

Las características de este vehículo eran sorprendentes. Sus motores habrían quemado sólo hidrógeno y oxígeno, por lo que los gases emitidos como consecuencia de la reacción entre los dos elementos habrían consistido sólo en vapor de agua caliente.

UN NUEVO PROYECTO

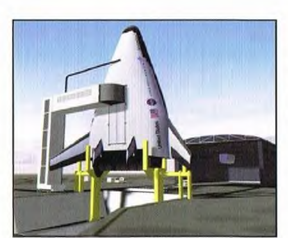
Pese a estas características, que dejaron sorprendidos a cuantos tuvieron la posibilidad de ver el vuelo del X-33, el 2 de julio de 1996 la NASA seleccionó como



Vista de conjunto de los lanzadores reutilizables en curso de desarrollo. De izquierda a derecha, el X-33, el Delta Clipper (ya superado) y el X-34.



El desarrollo del X-33, prototipo del VentureStar representado en el dibujo, costará unos 1.150 millones de dólares, el 80% sufragado por la NASA y el resto por la Lockheed Martin.



El VentureStar, representado en las fases anteriores al lanzamiento. Dos o tres horas después de una misión, la nave debería estar en condiciones de emprender un nuevo vuelo.

vencedor del concurso el modelo propuesto por la Lockheed Martin. Se trata de un cohete reutilizable de una sola etapa capaz de llevar al espacio material y personas. El nombre de este cohete es VentureStar. Pese a que todavía no se ha construido ningún verdadero modelo, un vehículo a escala reducida volará antes de marzo de 1999. Este prototipo se llamará X-33 ATD (Advanced Technology Demonstrator). A comienzos de siglo podría volar un vehículo a escala real. El VentureStar se ha proyectado con materiales muy resistentes pero extremadamente ligeros, con una configuración muy aerodinámica, con motores eficaces a todas las alturas y con capacidad para cargar contenedores de dimensiones estándar. El X-33 tendrá una altura de 22 m, frente a los 42 m del VentureStar. El modelo final podrá transportar más de 11 toneladas de material a la Estación Internacional Alpha. Cuando la carga se tenga que transportar a una órbita terrestre baja, su masa total podrá alcanzar las 20 toneladas.

UN VUELO CON EL VENTURESTAR

Cuando el VentureStar esté en plena actividad, los vuelos por el espacio serán mucho más sencillos que con el Shuttle. Después de una revisión en un hangar no muy diferente de los que se utilizan para revisar los aviones actuales, el transbordador será transportado al lugar de partida por un tractor que lo remolcará acostado hasta la rampa de lanzamiento. Una vez allí, cerca de una gran cavidad de hormigón armado que recogerá los gases producidos por el lanzamiento, se procederá a erguir el transbordador y a lanzarlo al espacio. Una vez alcanzada la órbita terrestre, el VentureStar podrá efectuar una serie de operaciones no muy distintas de las que realiza el transbordador actual. Por ejemplo, podrá poner en órbita sondas o satélites que luego serán lanzados hacia planetas, o recuperar satélites averiados y llevarlos a la Tierra. También podrá acoplarse con la Estación Internacional que a partir del año 2000 será construida alrededor de nuestro planeta. Una vez concluidas las operaciones, podrá volver como un avión eligiendo distintos aeropuertos según las circunstancias. Después del aterrizaje, bastarán unas pocas horas para que el VentureStar pueda volver a estar en plena actividad, pronto para despegar. ¿En qué se diferencia, entonces, el VentureStar del Shuttle? En unas pocas características esenciales. En primer lugar, el Shuttle, en el despegue, necesita dos boosters de propulsante sólido que una vez agotado el carburante caen al mar y son recuperados para volver a ser utilizados. Además, lleva un gran depósito en el que almacenar el oxígeno y el hidrógeno líquidos que, a diferencia de los boosters, se pierde al volver a entrar en la atmósfera porque se quema. Por consiguiente, antes de poder estar en condiciones para un nuevo lanzamiento, el Shuttle necesita un período de varios meses de revisión y de trabajo para preparar el nuevo tanque de propulsante y devolver los boosters laterales a las condiciones de partida. Además, cuando un Shuttle regresa después de permanecer en el espacio, aterriza como un planeador, por lo que su trayectoria debe establecerse con la máxima precisión cuando el transbordador se encuentra todavía fuera de la atmósfera terrestre. En cambio, el VentureStar llevará en su interior los motores y las reservas de carburante. Por ello, será mucho más manejable y podrá elegir distintos lugares de la Tierra como puntos de aterrizaje. Nos podemos preguntar por qué no se ha diseñado hasta ahora un transbordador de una sola etapa, totalmente reutilizable. En realidad, siempre se había soñado con construir un cohete con estas características. Lo que lo ha impedido hasta hoy ha sido el peso de los materiales, que no permitían construir un cohete dentro del cual se almacenara suficiente carburante para un viaje de ida y vuelta al espacio. Con los nuevos materiales, tan resistentes como los anteriores, se podrá disponer de un transbordador tres veces más ligero que el actual y capaz de las mismas prestaciones. El nuevo transbordador abrirá las puertas del espacio a muchas más personas, porque la frecuencia de los vuelos aumentará notablemente. Además, se podrá hablar no sólo de vuelos de trabajo sino también de vuelos turísticos, hasta el punto de que algunas agencias especializadas están estudiando ya la viabilidad de los primeros vuelos al espacio.

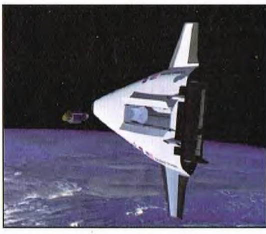
A la derecha, el VentureStar, cuyo viaje alrededor de la Tierra ha sido reconstruido por ordenador.

EL X-34, UN COHETE AVIÓN PARA LA PUESTA EN ÓRBITA DE SATÉLITES

Estados Unidos está desarrollando también un pequeño vehículo reutilizable capaz de alcanzar una cota lo bastante elevada como para poner en órbita dos satélites. Este cohete avión, que en la fase de investigación se llama X-34, será lanzado por un Boeing 747 convenientemente modificado. Las investigaciones sobre este nuevo medio de transporte, que corren a

El responsable financiero de la NASA, Dan Golding, y el vicepresidente de Estados Unidos, Al Gore, hablan del futuro del programa espacial estadounidense y del vehículo lanzador X-33.





Arriba, el X-34, una especie de cohete experimental capaz de poner en órbita dos satélites a la vez.



El proyecto X-34 ha recibido cambios a causa de problemas de presupuesto. Probablemente se realizará una versión reducida de la idea original.

cargo de la Orbital Sciences Corporation de Dulles (Estados Unidos), prosiguen a buen ritmo. Actualmente se está construyendo el primer modelo, que hacia mediados de 1998 demostrará la capacidad del X-34. Este vehículo deberá estar en condiciones de poner satélites en órbita terrestre. A comienzos de 1998 se hará la primera prueba de vuelo de un Boeing 747 adaptado al lanzamiento de varios tipos de cohetes avión reutilizables.

PROYECTOS ABANDONADOS

La posibilidad de construir transbordadores capaces de ir al espacio y volver a la Tierra como simples aviones ya había sido considerada por los ingenieros en los años cuarenta. La primera tentativa de construir uno tuvo lugar en 1942 en Alemania y obedeció a exigencias militares. Eugen Sanger e Irene Bredt propusieron un modelo que llamaron «bombardero antipódico». Con una envergadura de 16 m, este vehículo debía poder alcanzar los 160 km de altura y una vez en órbita lanzar bombas hasta 23.000 km de distancia del lugar de partida. Pero el proyecto nunca vio la luz. Una idea que se acercó mucho más a la realización práctica fue la estadounidense Dyna-soar. El transbordador habría sido lanzado por un cohete Titan y una vez en órbita alrededor de la Tierra habría regresado como un Shuttle. Además del estadounidense Space Shuttle, el único transbordador que partió hacia el espacio fue el soviético Buran. Esta nave, lanzada el 15 de noviembre de 1988, era muy parecida al transbordador estadounidense. Puesta en órbita por el mayor cohete del mundo, el lanzador Energia, dio dos vueltas a la Tierra antes de posarse en una pista de las estepas del Asia central. Contrariamente al Shuttle, el Buran no tenía necesidad de piloto. Por desgracia, a causa de las vicisitudes financieras por las que atraviesa la astronáutica rusa, el Buran permanece inutilizado en un hangar de Rusia y probablemente no podrá regresar nunca al espacio. En los años sesenta se trabajó también en la idea de construir cohetes completamente reutilizables. Entre los distintos proyectos de la época destacamos el ROMBUS (Reusable Orbital Module-Booster and Utility Shuttle), que debía tener 29 m de altura y llevar una carga útil de aproximadamente 400 toneladas. El cohete tenía que regresar del espacio por medio de un paracaídas. Otra idea abandonada fue la de un cohete nuclear, que ya fue estudiado en los años cincuenta. En 1969, el modelo de motor nuclear llamado XE fue encendido 28 veces y produjo un empuje de 22.500 kg. Pero el proyecto fue abandonado a comienzos de los años setenta con el redimensionamiento de los programas de la NASA.



EN EL PRÓXIMO NÚMERO

EL SISTEMA SOLAR

PLANETAS TERRESTRES

ESTRELLAS Y GALAXIAS

BINARIAS X

GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

ACUARIO

LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO

PRIMERAS MISIONES APOLLO

EL USO DEL ESPACIO

LA MISIÓN GALILEO